



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ХАРКІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**ХАРЧУВАННЯ ТА ТОРГІВЛІ**

**МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ТА ОСНОВИ  
ВИРОБНИЦТВА НЕПРОДОВОЛЬЧИХ ТОВАРІВ**

методичні вказівки до виконання лабораторних робіт із дисципліни  
для студентів освітнього рівня бакалавр  
спеціальності 076 «Підприємництво, торгівля та біржова діяльність»

Харків  
ХДУХТ  
2019

Матеріалознавство та основи виробництва непродовольчих товарів [Електронний ресурс]. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт освітнього рівня «бакалавр» для студентів спеціальності 076 «Підприємництво, торгівля та біржова діяльність». – Електрон. дані. / Укладачі: В. І. Захаренко, В. В. Полупан. – Х. : ХДУХТ, 2018. – 1 електрон. опт. диск (CD–ROM); 12 см. – Назва з тит. екрана.

Укладачі: д.т.н В. І. Захаренко, доцент В. В. Полупан

Рецензент: канд.техн.наук, проф. А. Б. Горальчук

Кафедра товарознавства в митній справі

Схвалено науково-методичною комісією ХДУХТ за спеціальністю «Підприємництво, торгівля та біржова діяльність»  
Протокол від 23 листопада 2018 року № 2

Схвалено вченою радою ХДУХТ  
Протокол від 24 грудня 2018 року № 8

Схвалено редакційно-видавничою радою ХДУХТ  
Протокол від 21 грудня 2018 року № 10

© Захаренко В.І., Полупан В.В., укладачі,  
2019

© Харківський державний університет  
харчування та торгівлі, 2019

## ВСТУП

В методичних вказівках наведені лабораторні роботи з матеріалознавства непродовольчих товарів, які виконуються студентами другого курсу денної форми навчання. Лабораторні роботи охоплюють всі розділи курсу, який вивчається, і кожна з них містить короткі теоретичні відомості, опис установки в цілому та окремих приладів, практичні завдання, питання для самоконтролю. Особливої уваги автори надавали вивченню тих властивостей матеріалів, які являються загальними для більшості об'єктів, які використовуються у виробництві непродовольчих товарів. Це – повітро- та паропроникність, які являються основними показниками для тканин та шкіри, це і модуль пружності та модуль зсуву для металевих матеріалів і т.д.

Знайомство з будовою матеріалів на теоретичних заняттях і експериментальне вимірювання фізичних величин, які характеризують їх властивості на лабораторних заняттях, дозволяє більш упевнено розв'язувати основну задачу матеріалознавства прослідити за впливом структурної побудови матеріалів на їх властивості, так, будуючи експериментальні діаграми сплавів, студенти знайомляться на практиці з фазовими переходами першого роду, мають можливість на практиці візуально спостерігати зернисту структуру полікристалів, визначати, використовуючи правило важеля, фазовий склад сплаву, його концентрацію.

На сучасному рівні розвитку техніки, а також виходячи із нових технологій при виробництві матеріалів, з'явилась можливість одержати нові матеріали з заданими властивостями, тобто такі, які задовольняють конкретним вимогам. Це потребує детального і всебічного вивчення їх нових властивостей, що можливо зробити в умовах лабораторного практикуму.

Велике значення при проведенні конкретних лабораторних досліджень надається плануванню, структурі та побудові експерименту. Звичайно, для конкретних ситуацій ці моменти експериментальних досліджень мають свої специфічні риси та особливості залежно від завдань лабораторної роботи, характеру вимірюваних величин тощо. На заключному етапі велику роль відіграє інтерпретація отриманих результатів.

Лабораторні заняття з матеріалознавства з непродовольчих товарів мають на меті поглибити теоретичні знання студентів і пов'язати їх з практикою, ознайомити студентів з сучасними технічними засобами і методами дослідження, а також сприяти докладнішому вивченню будови матеріалів та їх властивостей.

З розвитком науки і техніки сфера експериментальних досліджень увесь час розширюється, охоплюючи дедалі складні явища природи, нові технології виробництва матеріалів.

# ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

## Мета роботи

1. Самостійна робота по темі [2]. Фізичні властивості матеріалів [4]. Загальні методи дослідження матеріалів.
2. Знайомство з методами обробки експериментальних результатів вимірювань. Навчитися обчислювати:
  - абсолютну та відносну похибки;
  - коефіцієнт варіації.
3. Придбати практичні навички експериментального визначення густини тіл неправильної геометричної форми та густини пористих тіл.
4. Знайомство з методом гідростатичної о зважування.

- 1. Прилади та обладнання:**
1. Прилад для гідростатичного зважування.
  2. Зразок для вимірювання.

## Обробка результатів вимірювань та визначення густини тіл неправильної геометричної форми

Виконання будь-якої лабораторної роботи завжди супроводжується вимірюваннями. Вимірювання якоїсь фізичної величини – це процес порівняння її з однорідною величиною, яку взято за одиницю вимірювання. Навіть за достатньо точних вимірювань однієї і тієї самої величини одержувані значення відрізняються одне від одного, тому що містять помилки (промахи) та похибки. Це зумовлено недосконалістю вимірювальної апаратури, недосконалістю органів почуття спостерігача та іншими причинами.

Абсолютною похибкою вимірювання зветься різниця  $X - X_0$  між результатом вимірювання  $X$  та дійсним значенням  $X_0$  вимірюваної величини. Похибка вимірювань звичайно є невідомою, тому що невідоме і дійсне значення вимірюваної величини. Тому до завдань вимірювань входить визначення самої величини та оцінювання допущеної при вимірюванні похибки. Визначається наближене значення вимірюваної величини та інтервал значень, у якому з відомою ймовірністю знаходиться дійсне значення вимірюваної величини. Обробка експериментальних результатів проводиться в наступній послідовності.

1.1. Кожну величину вимірюють декілька разів (не менше 3-х) і визначають середнє арифметичне значення показника властивостей.

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}, \quad (1)$$

де  $X_1; X_2; \dots; X_n$  – значення вимірюваної величини;  
 $n$  – кількість вимірювань.

1.2. Розраховують середнє квадратичне відхилення результатів від середнього арифметичного, яке характеризує абсолютну мінливість досліджуваного показника:

$$S = \sqrt{\frac{([X_1 - \bar{X}]^2 + (X_2 - \bar{X}) + \dots + (X_n - [\bar{X}])^2}{(n-1)}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - [\bar{X}])^2}{n-1}}, \quad (2)$$

1.3. Визначають величину  $3s$  та порівнюють її з відхиленням кожного результату від середньої арифметичною  $X_i - X$ .

Якщо величина  $X_i - X$  більша за  $3s$ , то такий результат відкидають як промах (результат аномальний), знову визначають  $X$  та  $S$  дія залишків кількості вимірювань.

1.4. Знаходять  $S_c$  – середнє значення  $S$ .

$$S_c = \frac{S}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n(n-1)}}. \quad (3)$$

1.5. Визначають надійний інтервал (абсолютну похибку). Для цього використовують розподіл Стьюдента.

$$\Delta X = \pm S_c \cdot t, \quad (4)$$

де  $t$  - коефіцієнт Стьюдента.

Для лабораторних вимірювань достатньою надійністю вважається 0,95. Тоді значення коефіцієнта Стьюдента при 3-х вимірюваннях буде дорівнювати 4,3, для 4-х вимірювань – 3,2, а для 5-х відповідно, – 2,8 (табл. 1).

1.6. Записують результати у вигляді

$$X = \bar{X} \pm \Delta X.$$

Крім цього, у товарознавстві у разі необхідності визначають також коефіцієнт варіації  $V$ , який характеризує відносну мінливість показника властивостей  $X$ .

$$V = \pm \frac{S}{\bar{X}} \cdot 100\% \quad (5)$$

Його визначають, наприклад, для пористості, або міцності шкіри залежно від топографічної ділянки, при визначенні фізичних властивостей. Наприклад, при дослідженні взуттєвих матеріалів показник властивостей з  $V$  менше за 10% вказує на однорідність матеріалу, у межах 15...20 % – на значні коливання ознаки, а більше 20% – на неоднорідність властивостей.

Значення коефіцієнта Стьюдента дія надійності 0,95 ( $N$  – число вимірювань,  $t$  – коефіцієнт Стьюдента).

Таблиця 1

N	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t	12,7	4,3	3,2	2,8	2,6	2,4	2,4	2,3	2,3

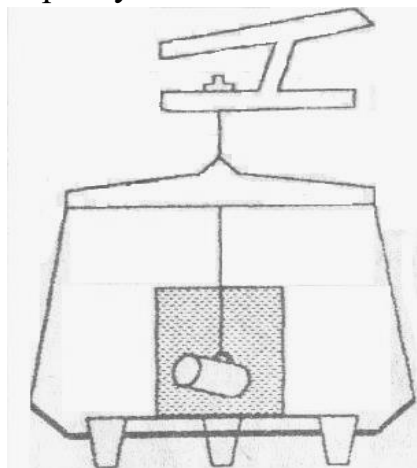
**Задача 1.** Розрахувати середнє квадратичне відхилення ( $S$ ), коефіцієнт варіації ( $V$ ), абсолютну похибку ( $\Delta x$ ) вимірювань. Чи є промахи при вимірюваннях.

N вимі- рювання	Час висихання нітролаку, хвилин		Повітропроникність тканин, дм <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> ·с	
	варіант 1	варіант 2	варіант 1	варіант 2
1	4	4	25,4	25,3
2	5	1	25,0	24,3
3	5	5	24,1	25,4
4	6	5	24,7	24,6
5	8	6	25,3	25,1
6	7	6	26,0	25,0
7	4	3	24,8	24,0

## 2. Визначення густини виробів неправильної геометричної форми

I. Прилади та пристосування: технічні терези, важки, досліджуване тіло, скляний циліндр, тонкий дріт.

Як відомо, густина – це маса одиниці об’єму тіла, тому визначення густини тіл зводиться до визначення їх маси та об’єму. Визначення маси тіла можна виконати шляхом зважування, тобто порівнюючи масу тіла з масою відомих тіл. Але безпосереднє вимірювання об’єму тіла, якщо воно має складну будову, неможливо. В цьому випадку роблять так: тіло зважують у воді і, користуючись законом Архімеда, визначають масу води, яку виштовхує тіло.



Знаючи густину води, розрахунками знаходять об’єм тіла.

II. Гідростатичні терези (рис.1) – спеціально пристосовані технічні терези. До лівої чашки терезів закріплюють крючок, на який підвішують на дротині досліджуване тіло, яке після зважування в повітрі занурюють у воду.

III. Вимірювання. Підвішують досліджуване тіло (рюмку або чашку) тонкому дроті до лівої шальки терезів і зрівноважують його, вагами на правих шальках. Записують значення маси виробу в повітрі.

Рис.1 Гідростатичні терези

Ставлять під виробом на тринижник склянку з дистилірованою водою і занурюють у воду тіло, спостерігають щоб воно не торкалось ні дна ні стінок склянки. А також, щоб до тіла не прилипли, особливо до, вушка, пузирі повітря. Знову зрівноважують терези і записують масу виробу у волі. Це дає змогу розрахувати густину виробу за формулою

$$\rho = \frac{m \cdot \rho_{\text{вд}}}{m - m_1} = \frac{m \cdot \rho_{\text{вд}}}{\Delta m}, \quad (6)$$

де  $m$  – маса виробу в повітрі, г.

$m_1$  – маса виробу у воді, г.

$\rho_{\text{pid}}$  – густина води ( $1\text{г/см}^3$ ).

Зважування та розрахунки виконують з точністю до знаку після коми не менше 3-х разів. Результат записати у вигляді  $\rho = \rho_{\text{вир}} \pm \Delta\rho$  (де  $\rho_{\text{вир}}$  – густина виробу, а  $\Delta\rho$  – абсолютна похибка вимірювання або надійний інтервал). Так як похибка при знаходженні густини виробу визначається тільки помилкою при зважуванні, то для знаходження  $\Delta\rho$  необхідно знайти  $\Delta m$  – абсолютну похибку при зважуванні (не має значення в повітрі чи в воді), а потім і відносну

$$\delta = \frac{\Delta m}{m} \quad (7)$$

Після цього знаходимо  $\Delta\rho = \rho_{\text{вир}}\delta$ , і записуємо кінцевий результат.

З визначення густини пористих тіл (кераміки, шкіри). Якщо тіло має пори, то при зануренні тіла в воду вони будуть заповнюватись і при гідростатичному зважуванні будемо мати не зовнішній об'єм тіла, а внутрішній. Фактично в цьому випадку гідростатичний метод теж дає густина тіла, але без врахування пористості. Тобто, якщо тіло зруйнувати на малі частинки, то й будемо мати таку ж саму густина – це істинна густина тіла. Але якщо врахувати пористість, то буде уявна густина тіла. Відношення цих значень густини дає змогу визначити пористість тіла.

$$n = \frac{\rho_{\text{уяв}}}{\rho_{\text{іст}}} \quad (8)$$

де  $\rho_{\text{уяв}}$  – уявна густина тіла,

$\rho_{\text{іст}}$  – істинна густина тіла.

Для визначення уявної густини тіла зразок покривають водонепроникною плівкою – парафіном. Плівку доцільно наносити щіткою на висушений до постійної маси зразка. Після цього зважують і визначають масу парафіну, як різницю маси зразка з плівкою ( $m_1$ ) та без неї ( $m$ ). Об'єм парафінової оболонки ( $V_0$ ) визначають діленням  $m_1 - m$  на густина парафіну ( $0,93^2/\text{см}^2$ ).

Зразок, покритий парафіном, зважують у воді на гідростатичних терезах, його маса  $m_2$ . По різниці  $m_2 - m_1$  визначають об'єм зразка з плівкою ( $V$ ). Об'єм зразка без плівки дорівнює  $V - V_0$ . Уявну густина визначають із відношення

$$\rho_{\text{уяв}} = \frac{m}{V - V_0} \quad (9)$$

Після цього виконують гідростатичне зважування зразка без парафіну, як було рекомендовано вище і визначають  $\rho_{\text{зст}}$ , а потім і порівнюють дослідження тіла.

### Контрольні запитання

1. Що таке абсолютна похибка, середнє квадратичне відхилення, коефіцієнт варіації?
2. Що характеризує (показує) коефіцієнт варіації?
3. Чим відрізняється уявна густина тіла від істинної?
4. В чому полягає гідростатичний метод зважування?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

### Мета роботи

1. Самостійна робота по темі [2]. Термічні властивості матеріалів [1]. Термічні властивості матеріалів.
2. Знайомство з одним із методів вимірювання теплозахисних характеристик шкіри та тканин.
3. Придбати практичні навички визначення коефіцієнтів теплопровідності та температуропровідності шкіри.

#### 1. Прилади та обладнання

1. Прилад для вимірювання теплопровідності матеріалів.
2. Амперметр.
3. Вольтметр.
4. Мілівольтметр.
5. Зразок

### Визначення теплозахисних характеристик шкіри, тканин

#### 2. Теоретичний вступ

Шкіра, як взуттєвий матеріал, повинна мати такі теплозахисні властивості, щоб можна було зберігати ступні ніг при сталій температурі за будь-якої пори року, тобто зберігати тепло в холод і захищати від перегріву в жарку погоду. Важливими фізичними величинами, які визначають теплозахисні якості матеріалів є їх теплопровідність та температуропровідність.

Теплопровідність – один із видів переносу теплоти від нагрітого тіла до холодного, що приводить до вирівнювання температури.

Перенесення теплоти механізмом теплопровідності здійснюється в твердих тілах (діелектриках) шляхом безпосередньої передачі теплового руху молекул і атомів сусіднім часткам речовини у формі пружних хвиль, а порох, де міститься повітря, в наслідок обміну енергією при зіткненні молекул, що мають різну швидкість теплового руху. Згідно до основного закону теплопровідності – закону Фур'є, вектор густини теплового потоку, що передається теплопровідністю, пропорційний градієнту

$$Q = -\lambda \text{ grad } t, \quad (1)$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності речовини, що характеризує здібність даного матеріалу проводити тепло.

Чисельно коефіцієнт теплопровідності ( $\lambda = qf \text{ grad } t$ ) дорівнює густині теплового потоку – кількості теплоти, що проходить за одиницю часу через одиницю ізотермічної поверхні при умові, що градієнт температури ( $\text{grad} = dt/dn$ ) дорівнює 1К/м.

Вимірюється він у Вт/м. К.



Коефіцієнт теплопровідності залежить від природи речовини, її структури (пористості), температури та інших чинників. Найгіршими провідниками теплоти є гази ( $\lambda = 0,07 \dots 0,7$  Вт/(м.К).) Тому чим більше пористість шкіри тим гірше її теплопровідність, тобто кращі захисні якості. Для рідин теплопровідність зростає ( $\lambda = 0,02 - 3$  Вт/(м.К)) тому волога шкіра значно гірше зберігає тепло. Взуттєва шкіра ідеально підходить під однорідну плоску стінку  $\delta$  (рис. 1).

На зовнішніх поверхнях стінки підтримуються постійні температури  $t_{C1}$  та  $t_{C2}$ . Температура змінюється тільки по товщині пластини – по одній координаті  $x$ . Враховуючи, що для такого одномірного випадку  $\text{grad } t = dt/dx$ , та використовуючи основний закон теплопровідності (1) отримаємо диференціальне рівняння стаціонарної теплопровідності для плоскої стінки:

$$q = -\lambda \frac{dt}{dx}.$$

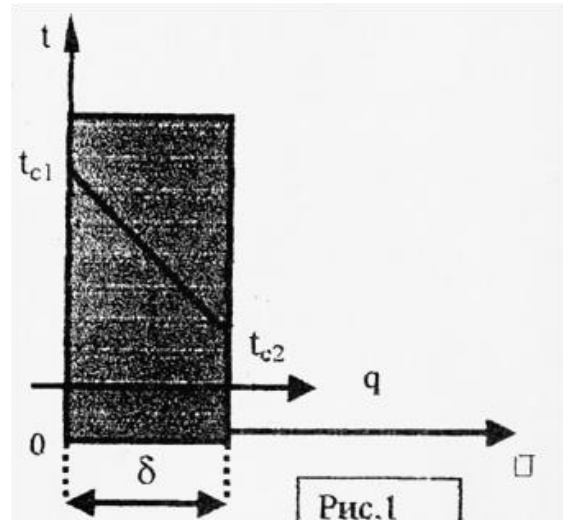


Рис.1 Взуттєва шкіра підходить під однорідну плоску стінку  $\delta$

Поділивши перемінні та проінтегрувавши по  $t$  від  $t_{C1}$  до  $t_{C2}$  і по  $x$  від 0 до  $\delta$  одержимо  $q = (t_{C1} - t_{C2}) \frac{\lambda}{\delta}$  або

$$Q = q \cdot F = (t_{C1} - t_{C2}) \frac{\lambda F}{\delta}, \quad (3)$$

де  $F$  – площа зразка (шкіри).

Одержана формула (3) має дуже широке розповсюдження у теплових розрахунках. По ній можна розрахувати коефіцієнт теплопровідності матеріалу, якщо експериментально заміряти тепловий потік та різницю температур на поверхні шкіри відомих розмірів.

### 3. Експериментальна установка

Схему експериментальної установки подано на рис.2.

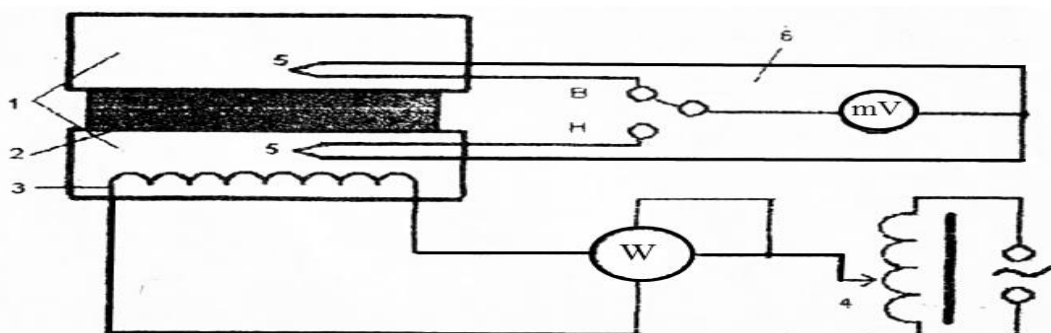


Рис.2.Схема установки для вимірювання коефіцієнта теплопровідності

Поміж масивними текстолітовими пластинами 1 розміщено зразок, що досліджується 2. У нижню пластину вмонтовано нагрівач 3. Нагрівач живиться від мережі 220В через потенціометр. Потужність нагрівача можна визначити за показаннями вольтметра  $U$  та амперметра  $I$ :  $P = IU$ . Температури пластин вимірюються термопарами 5, що за допомогою перемикача 6 почергово підключаються до мілівольтметра  $mV$ . За показаннями мілівольтметра за допомогою градуїровочної таблиці термопар, що розміщується на лабораторному стенді, можна визначити температури нижньої та верхньої пластини  $t_H$  та  $t_B$  (причому  $t_H > t_B$ ).

#### 4. Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з обладнанням лабораторної установки. Перевірити правильність електричних з'єднань в установці. Визначити ціну поділки шкал вимірювальних приладів.

2. Заміряти товщину шкіри або тканини, тобто матеріалу, що досліджується та розмістити зразок поміж пластин установки.

3. З дозволу викладача включити живлення установки. Встановити напругу на вольтметрі: 150В.

4. Стежити за показаннями мілівольтметра приблизно протягом однієї години при положеннях перемикача термопар 6 “В” та “Н” і виявити, коли настане момент стаціонарного режиму. Для цього кожні 5 хв. записуйте в таблицю 1.1 показання мілівольтметра  $mV$ :  $\varepsilon_H$  (перемикач у положенні “Н”) та  $\varepsilon_B$  (перемикач у положенні “В”) та  $\Delta\varepsilon = \varepsilon_H - \varepsilon_B$ .

При настанні стаціонарного режиму величина  $\Delta\varepsilon$  не змінюється на протязі трьох-чотирьох вимірів.

Таблиця 1.1

$\tau$ , хВ	5	10	15	20	25	30	35	40	.....
$\epsilon_H$ , mV									
$\epsilon_B$ , mV									
$\Delta\epsilon$ , mV									

5. Записати останні показання мілівольтметра  $\epsilon_H$  та  $\epsilon_B$  при настанні стаціонарного режиму в таблицю 1.2.

6. Підвищити напругу до 180 В за допомогою потенціометра. Повторити дії згідно з п.п. 4 та 5.

7. Підвищити напругу до 210 В та повторити вимір.

8. Якщо знехтувати тепловими витратами в установці то при стаціонарному режимі можна записати:

$$\lambda = \frac{I \cdot U \cdot \delta}{F (t_H - t_B)} \quad (4)$$

Тут  $F$  – площа зразка,  $\delta$  – товщина зразка, вимірюється штангенциркулем,  $I$  – сила струму (по амперметру),  $U$  – напруга (по вольтметру).

$t_H$  та  $t_B$  – температури нижньої та верхньої пластин після встановлення стаціонарного режиму, вимірюються термомпарами, які вмонтовані у пластини.

По формулі (5) розрахувати відповідні значення  $\lambda$  для кожного режиму.

9. Результати розрахунків занести в таблицю 1.2.

Таблиця 1.2

№ з.п.	I А	U В	$\epsilon_H$ mV	$\epsilon_B$ mV	$t_H$ °C	$t_B$ °C	$\lambda$ Вт/м·К	P=I U Вт	A м <sup>2</sup> /с

Мірою теплоінерційних властивостей матеріалу є його теплопровідність:

$$a = \frac{\lambda}{C_p \rho}, \quad (6)$$

де  $C_p$  – теплоємність при сталому тиску,  $\rho$  – густина матеріалу.

Так як густину можна визначити як:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m}{F \cdot \delta}. \quad (7)$$

То зважуючи зразок на терезах, можна знайти  $m$ , а потім і густину.

10. Знайти масу шкіри та по формулі (7) розрахувати її густину.

11. По формулі (6) розрахувати температуропровідність шкіри. При розрахунках взяти  $C_p = 1500 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ .

Результати розрахунків занести до таблиці 1.2.

Коефіцієнт теплопровідності часто використовують для оцінки якості тканин, одягу, взуття, міху, а також різних теплоізоляційних матеріалів. Знаючи його, можна вірно визначити використання матеріалу, виходячи із умов його застосування. Матеріали з низьким коефіцієнтом теплопровідності використовують для теплоізоляції домашніх холодильників, в будівництві, при розробці зимового одягу, та утепленого взуття.

### Контрольні запитання

1. Яку роль відіграють теплозахисні властивості шкіри для її загального вжитку.
2. Чим відрізняється теплопровідність від температуропровідності? В чому сенс їхнього вимірювання?
3. Яке значення має пористість матеріалів при вимірюванні теплопровідності?

### ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

#### Мета роботи

1. Самостійна робота по темі [1,] повітропроникність матеріалів [2,].
2. Знайомство з методом вимірювання повітропроникності шкіри або тканин.
3. Придбати практичні навички визначення повітропроникності шкіри, та тканин.
4. Провести дослідження залежності повітропроникності шкіри від тиску.

## 1. Прилади та обладнання

1. Прилад для вимірювання повітропроникності матеріалів.
2. Мензурка до 1л води.
3. Зразок матеріалу.

## Визначення повітропроникності шкіри, тканин

### 2. Теоретичний вступ

Проникністю називається властивість матеріалів або готових виробів пропускати через себе повітря або водяний пар. Проходження повітря через матеріал можливо при різниці тисків за кожною його стороною. Крім того, проникністю володіють тільки пористі матеріали (тканина, шкіра, кераміка). Вона являється одним із основних показників властивостей при санітарно-гігієнічній оцінці виробів.

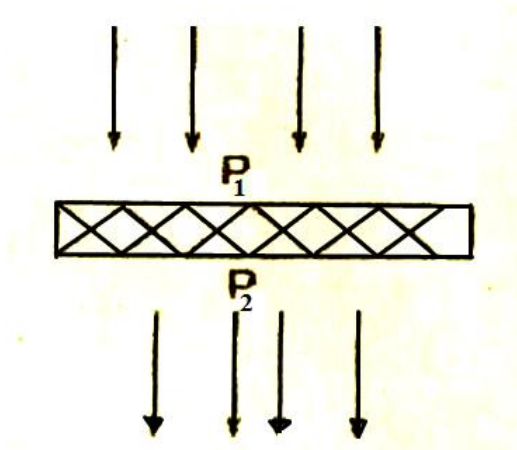


Рис. 1. Повітряпроникність матеріалу

Якщо з однієї сторони матеріалу тиск повітря  $P_1$  більше тиску повітря  $P_2$  з другої сторони, то кількість повітря ( $V$ ), яке пройшло через зразок при даному перепаді тиску  $P_1 - P_2 = h$ , буде пропорційне перерізу зразка ( $F$ ) і часу проходження ( $\Delta t$ ) повітря. Тому, повітропроникність можна визначити за формулою

$$B = V / F \Delta t, \text{ мл}/(\text{см}^2 \cdot \text{с}). \quad (1)$$

Повітропроникність матеріалів залежить в основному від величини кількості і характеру пор. Чим більше в матеріалі наскрізних пор, тим більше при даному перепаді тиску його повітропроникність. Для характеристики повітропроникності матеріалів використовуються технічний коефіцієнт повітропроникності ( $B$ ), який показує кількість повітря, яке пройшло через  $1 \text{ см}^2$  матеріалу за  $1 \text{ с}$ , якщо різниця тиску становить  $1 \text{ мм.вод.ст.} (9,8 \text{ Н}/\text{м}^2)$ . Технічний коефіцієнт повітропроникності складає ( $\text{в мл}/\text{см}^2 \cdot \text{с}$ ), наприклад, для діагоналі бавовняно-папірової  $0,577$  легких платтяних тканин  $20 \dots 6$ .

Залежність повітропроникності від тиску не може бути виражена однією формулою. Для густих матеріалів (мала пористість), які характеризуються коефіцієнтом повітропроникності до однієї  $\text{мл/см}^2\text{с}$ , залежність повітропроникності від тиску лінійна:  $V=Ch$ . Якщо тиск зростає до 50-100 мм. вод. ст. залежність повітропроникності від тиску виражається степеневою функцією:  $V=Ch^a$ , де значення  $a$  лежать в межах від 0,5 до 1,0. Для порівняння матеріалів по повітропроникності їй необхідно визначити при одному і тому перепаді тиску. Повітропроникність матеріалів визначають на спеціальних приладах, які відрізняються між собою властивістю підтримувати один і той же або різний перепад тиску і способом вимірювання кількості повітря, яке пройшло через матеріал.

### 3. Установа для вимірювання повітропроникності матеріалів

Установа для вимірювання повітропроникності складається із скляного циліндра 2 (Рис.2), в який перед вимірюванням наливається вода через отвір 1. Зразок капілярно-пористого тіла (видає викладач) 5 кріпиться у вимірювальній чарунці поміж резинових прокладок 7 накидною гайкою 8. Чарунка з'єднується з циліндром 2 гумовою грубкою 9.

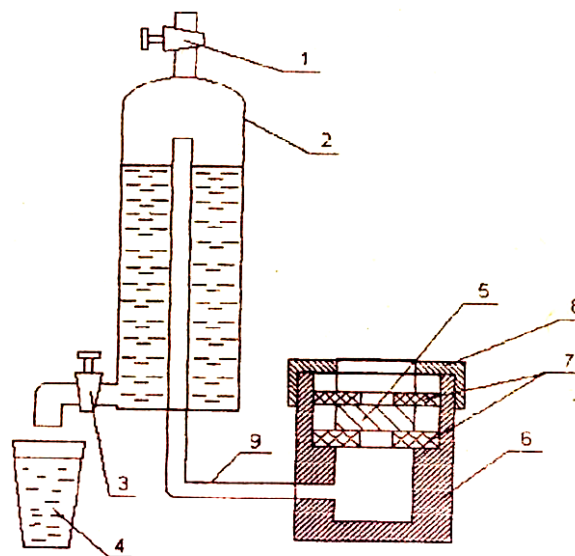


Рис. 2 Установа для вимірювання повітропроникності

Установа працює таким чином. Після заповнення скляного циліндра 2 водою, кран 1 закриваємо і відкриваємо кран 3, одночасно також включаємо секундомір. Вода виливається в мензурку 4 і дає нам об'єм  $V$  повітря, яке пройшло через зразок (його пори). Перепад тиску  $\Delta P$  дорівнює висоті  $h$  водяного стовпа в скляному циліндрі 2, тому необхідно через рівні проміжки часу записувати висоту  $h$  води в циліндрі. Для цього на циліндрі наклеєно міліметровий папір з поділками. Таким чином, якщо експериментально знайти

залежність  $h=f(\tau)$ , то можна розрахувати повітропроникність при будь-якому тиску водяного стовпа, починаючи з максимального, який визначається висотою скляного циліндра 2 і аж до нуля.

#### 4. Порядок виконання роботи

1. Помістити зразок капілярно-пористого матеріалу в вимірювальну чарунку і закріпити його накидною гайкою.
2. Налити води в скляний циліндр 2 до висоти 38-40см.
3. Відкрити кран 3 (перед цим необхідно закрити кран 1) і включити секундомір. Зробити відмітку початкового рівняння води в циліндрі.
4. Через кожні 4 см зменшення рівня води в циліндрі записувати час по секундоміру до тих пір, поки вся вода не витече із циліндра 2. Знайдені експериментальні результати заносять до таблиці 1.
5. Вимірюють діаметр скляного циліндра 2 штангенциркулем, знаходять його переріз  $\pi D^2/4$ , а потім і об'єм  $V$  рідини в скляному циліндрі між двома значеннями висоти  $h_1$  та  $h_2$ :  $V=\pi D^2/4\Delta h$ , де  $\Delta h=(h_1-h_2)$ .
6. Вимірюємо діаметр отвору в резинових прокладках, поміж яких знаходиться зразок, штангенциркулем і обчислюємо робочий переріз зразка:  $F=\pi d^2/4$  ( $d$  – діаметр отвору в резинових прокладках.)
7. Знаходимо повітропроникність для тиску  $h=(h_1+h_2)/2$  по формулі (1).
8. Всі результати розрахунків заносяться до таблиці I. По результатам обчислювань креслять залежність повітропроникності від тиску:  $V=f(h)$ .

Таблиця 1

1	h, см	40	36	32	28	24	20	16	12	8	4	F = V =
2	$\tau$ , с											
3	$h_{cp}$ , см	38	34	30	26	22	18	14	10	6	2	
4	B, мл/см <sup>2</sup> с											$\Delta h = 4\text{см}$ $d = 0,5\text{ см}$
5	$\Delta\tau$											D =

#### Контрольні запитання

1. Що зумовлює повітро- та паропроникність матеріалів?
2. Дайте визначення повітропроникності.
3. Як пористість впливає на проникність матеріалів? Як впливає тиск?
4. Яку роль відіграє повітро- та паропроникність для взуття та одягу?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

### Мета роботи

1. Самостійна робота по темі [4]. Методи побудови діаграм для сплавів [5]. Основні типи діаграм стану.
2. Знайомство з різними діаграмами стану сплавів. Експериментальна побудова однієї із діаграм стану сплавів по критичним точкам.
3. Придбати практичні навички знаходження евтектичної точки на діаграмі стану сплаву.

#### 1. Прилади та обладнання

- 1.Тігелі з металами та сплавами.
- 2.Термопара.
- 3.Мілівольтметр.
- 4.Піч для підігріву сплаву.

### Побудова діаграми стану системи олово-свинець термічним методом

#### 2.Теоретичний вступ

Плавлення та кристалізація речовин з фізичної точки зору є фазовий перехід першого роду. Для чистих речовин, як відомо, плавлення характеризується сталою температурою, яка має назву – температура плавлення. Але різні багатокомпонентні суміші (сплави) кристалізуються не при одній температурі, а в де якому інтервалі температур. Тому, плавлення і кристалізація сплаву даної концентрації характеризується температурами початку і кінця кристалізації, значення яких залежить від складу сплаву.

Для спостереження залежності температури кристалізації розплаву від складу, результати вимірювання зручно представити у вигляді діаграми стану. Діаграма стану це графічне відображення зміни рівноважного стану сплавів в залежності від температури та концентрації. Очевидно, що зовнішній вид діаграми стану буде різним в залежності від комбінації речовин і буде визначатися характером взаємодії між компонентами сплавів.

Простий вид діаграми стану маємо в тому випадку, коли речовини мають необмежену розчинність як в рідкій, так і в твердій фазі. Такими властивостями володіють системи Ag-Aи, Si-Sь та інші. Діаграма стану таких сплавів приведена на Рис.1, де по вісі ординат приведено температури, а по вісі абсцис – концентрації. Лінія aNKь називається лінією ліквідуса, а лінія aMLь – солідуса. Вище лінії ліквідуса маємо однорідну рідину. Нижче лінії солідуса – однорідний твердий розчин. Заштрихована – область рідкої та твердої фази. При побудові кривої охолодження сплаву концентрації С видно, вона має дві критичні точки



К та М (Рис.2), які відповідають початку та кінцю твердження, на відміну від чистого компонента, у якого виділення теплоти кристалізації відбувається при одній температурі.

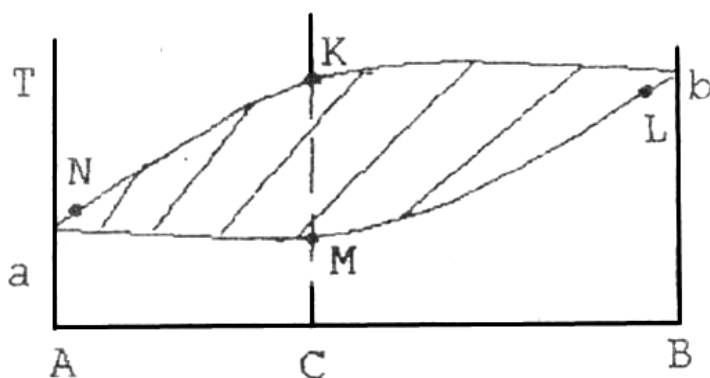


Рис.1. Діаграма стану сплавів Ag-Au, Si-Sb

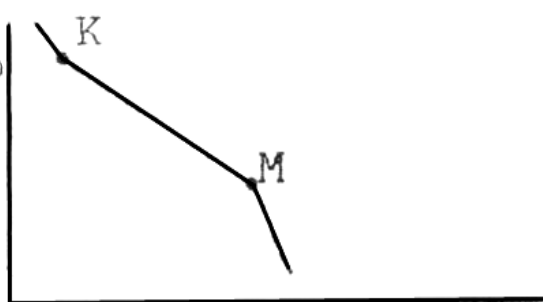


Рис.2 К та М які відповідають початку та кінцю твердження

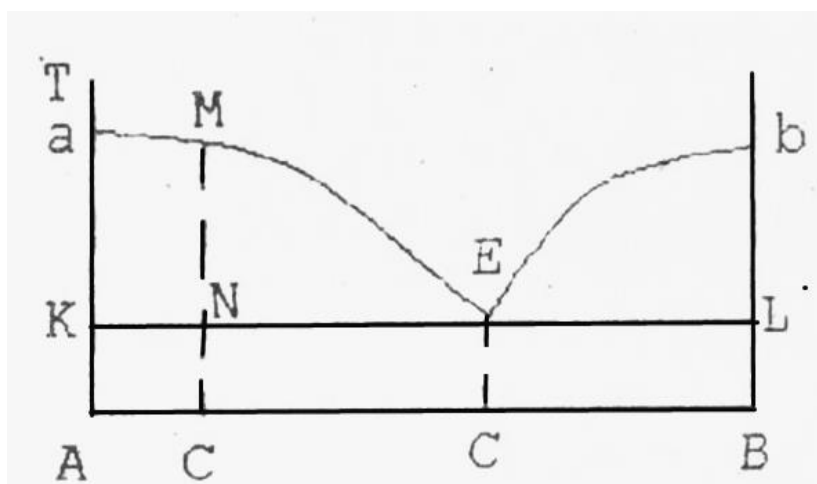


Рис.3 Діаграма в якій присутня евтектика

В тому випадку, коли речовини мають необмежену розчинність в рідкому стані і зовсім не розчиняються один в одному в твердій фазі (наприклад Bi-Cd), вони мають діаграму в якій присутня евтектика (Рис.3). На діаграмі точками а і b позначені температури твердіння чистих речовин А і В. Лінія аЕb – температури початку кристалізації в залежності від процентного складу суміші (лінія ліквідуса). Точка Е, в котрій перетинаються дві криві кристалізації, називається евтектичною точкою, а кристали, які в ній утворюються називаються евтектикою.

Евтектика представляє мілкодисперсну суміш кристалів із чистих речовин, які мають необмежену розчинність в рідкій фазі і частково розчиняються в твердій фазі, утворюють діаграму, яка показана на рис.4. До таких комбінацій відносяться: Sb-Bi, Bs-Sn, РЬ-СЬ.

Для других комбінацій речовин, коли кількість компонентів в сплаві більше трьох вид діаграми стану значно складніший.

Розглянемо процес кристалізації сплаву, який дає чисто евтектичну діаграму стану більш ретельніше (Рис.3).

Крива аЕ характеризує зміну температури початку кристалізації речовини А в залежності від його концентрації в розплаві. Тому ордината точки М є температура  $T_0$ , при якій із даного розплаву починають виділятися кристали речовини А в чистому виді. По мірі зростання кристалів розплав А збагачується речовиною В, а тому процес виділення кристалів А із розплаву повинен проходити при більш низькій температурі, чим  $T_0$ ; дійсно, одночасно з кристалізацією речовини А температура розплаву знижується.

Коли температура розплаву досягає евтектичної температури (точки N), а концентрація сплаву ( $C''$ ), починається твердіння евтектики. В процесі твердіння сплаву евтектичної концентрації температура не змінюється.

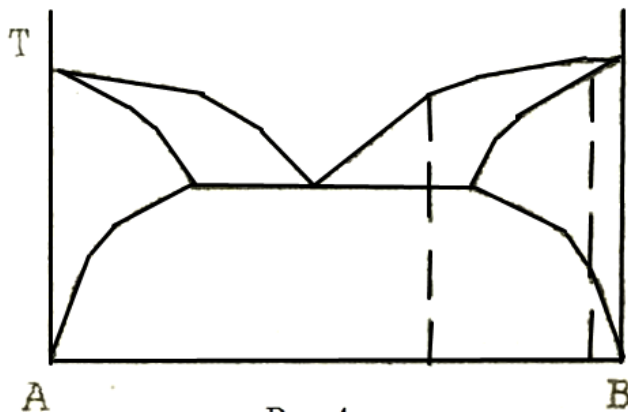


Рис.4 Речовини розчиняються в твердій фазі

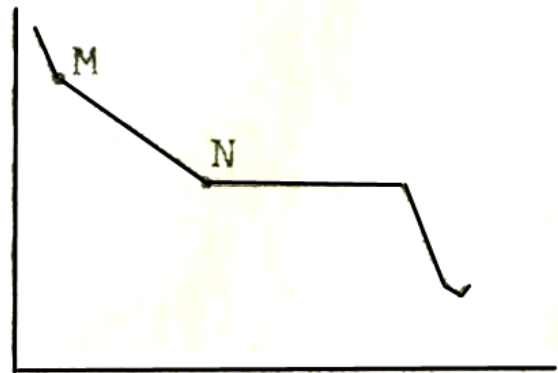


Рис.5 Крива залежності температури охолодження розплаву концентрації  $C'$  / від часу

Крива залежності температури охолодження розплаву концентрації  $C'$  від часу показана на Рис.5. Таким чином, кристалізація сплаву починається при температурі тим більш низькій, чим ближче концентрація сплаву до евтектичної, і закінчується при евтектичній температурі. Із сказаного видно, що для речовин, які мають чисто евтектичну діаграму стану, лінією солідуса є лінія KNEI (Рис.3).

### 3. Виконання роботи

В даній роботі необхідно побудувати діаграму стану: Pb-Sn і визначити евтектичну точку. Незважаючи на те, що діаграма стану сплаву не є чисто евтектичною (ці речовини трохи взаємно розчиняються в твердому стані), робочі концентрації складу сплаву вибрані так, що побудову діаграми для простоти можемо вести як і евтектичну.

Для побудови діаграми термічним методом необхідно знайти експериментально криві охолодження чистих металів Pb та Sn і ряд їх сплавів. Для цього в розплавлений і трохи підігрітий метал або сплав занурюють

термопари, які підключаються по черзі до мілівольтметра. Через відповідні проміжки часу (30-60с) записують значення мілівольтметра. Крива охолодження чистого металу має одну критичну точку (температуру плавлення), тоді як криві охолодження сплаву – дві критичні точки (крім евтектичної точки), які визначаються по зміні нахилу на кривих охолодження. Експериментальні дані охолодження металів та сплавів заносяться до таблиці.

По знайденим критичним точкам будується діаграма стану свинець-олово і знаходять точку евтектики.

Діаграма будується таким чином: по вісі абсцис відкладають процентний склад досліджуваних сплавів, а по вісі ординат – знайдені для цих сплавів критичні температури. Отримані точки з'єднують плавними лініями. Мінімум кривої дає евтектичну точку.

### **Контрольні запитання**

1. Який вигляд має діаграма стану коли компоненти сплаву мають необмежену розчинність як в рідкому так і в твердому стані.
2. Як знайти, використовуючи діаграму стану, рівноважний стан фаз в двофазні області.
3. Як знайти використовуючи діаграму стану, масову долю кожної із фаз (рідкої та твердої) в двофазні області.
4. Що називається точкою евтектики?

## **ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5**

### **Мета роботи**

1. Самостійна робота по темі [5] Кристалізація металів [4]. Кристалізація.
2. Спостереження фазового переходу першого роду.
3. Придбати навички роботи з потенціометром для вимірювання е.р.с.
4. Навчитися визначати ентропію при плавленні та твердінні металу.

- 1. Прилади та обладнання**
1. Піч дія нагріву метала.
  2. Тігель з металом.
  3. Мілівольтметр або потенціометр.
  4. Термопара.

### **Фазовий перехід першого роду**

#### **2. Теоретичний вступ**

Фазовим переходом першого роду називають фазове перетворення, яке супроводжується поглинанням або виділенням кількості теплоти і зміною питомого об'єму (наприклад, плавлення, кипіння, конденсація). Фазовий перехід першого роду завжди ізотермічний, при цьому температура переходу залежить від тиску.

Для фазових переходів першого роду можна розрахувати зміну ентропії по формулі Клаузіуса  $\Delta S = \Delta Q/T$ . В нашому випадку  $\Delta Q = \pm \lambda m$  ( $\lambda$  – питома теплота плавлення,  $m$  – маса тіла). Знак (+) відповідає поглинанню тілом кількості теплоти (плавленню), знак (-) – кристалізації, яка супроводжується виділенням теплоти. В роботі досліджується фазовий перехід першого роду на прикладі плавлення та кристалізації металу. Для вимірювання температури в роботі використовується термопара, яка представляє собою два спаяних кінцями провідника із різних металів. Якщо спаї мають температуру, виникає термо е. р. с., яку можна виміряти мілівольтметром або потенціометром (метод компенсації)  $\mathcal{E} = \kappa(T_1 - T_2)$ . Коефіцієнт пропорційності залежить від властивостей (природи) металів, які взяті для термопари. Для того, щоб використати термопару в якості термометра (вимірювача температури), необхідно провести її градування, тобто знайти  $k$ .

В дані роботі використовується термопара, градування якої відомо (прикладена до приладу). Для вимірювання температури спай термопари заглиблюють в тигель з досліджуваним металом, а вільні кінці провідників приєднують до зажимів приладу, якій вимірює термо е. р. с. При такому з'єднанні термо е. р. с. пропорційна різниці температур спаю і зажимів приладу.

В дані роботі термо е. р. с. вимірюються компенсаційним методом при допомозі потенціометра. Для визначення термо е. р. с. необхідно перед роботою провести регулювання робочого струму потенціометра.

Для цього перемикач П ставлять в положення К і поворотом ручки “Регулятор струму” встановлюють гальванометр Г на нуль. Після цього можна виконувати вимірювання е. р. с. термопари. Для цього перемикач П ставлять в положення И (вимірювання) і поворотом ручки Р знову встановлюють стрілку гальванометра на нуль. При цьому на шкалі Л навпроти покажчика можна прочитати значення термо е.р.с., в мілівольтах. Використовуючи градуїровочний графік, по значенню е. р. с. визначають різницю температури спаю, якій знаходиться в металі, і зажимів прибору:  $\Delta T = T_{мет} - T_{кім}$ . Для того, щоб знайти температуру нагрітого спаю, необхідно до різниці  $\Delta T$  прибавити кімнатну температуру  $T_{кім}$ . Кімнатну температуру знаходять по термометру, який знаходиться в лабораторії.

Для отримання кривої плавлення або кристалізації необхідно послідовно виконувати вимірювання температури по мірі нагрівання або охолодження металу.

### 3. Виконання роботи

1. Включають плитку.
2. Поки плитка розігрівається, проводять підготовку потенціометра до вимірів. Для цього перемикач П ставлять в положення К і ручкою “Регулятор тока” встановлюють гальванометр на нуль.
3. Підключають кінці термопари до зажимів потенціометра і проводять пробні вимірювання е. р. с. Для цього перемикач П ставлять в положення И і ручкою Р добиваються зниження струму через гальванометр. Значення е. р. с. при цьому можна прочитати по шкалі Л.

*Примітка: Якщо не вдасться встановити гальванометр на нуль необхідно поміняти місцями кінці терморари, біля зажимів А і Б.*

4. Коли значення е. р. с. досягне 5-6 МВ, можна починати регулярну запис. Для цього вмикають секундомір і проводять вимірювання через кожні 120с. (ручкою Р весь час тримають стрілку гальванометра на нулі, а через 120с. затісують показання по шкалі Л).

5. Після того, як буде відмічено декілька однакових значень е. р. с. (відповідаючих плавленню метала), продовжують вимірювання, до тих пір, поки температура не почне стійко зростати. Потім вмикають плитку та секундомір.

6. Знімають криву охолодження. Для цього знову вмикають секундомір і виконують через кожні 120с. вимірювання е.р.с. по мірі охолодження металу.

7. По графіку градування терморари визначають різницю температур, яка відповідає кожній е.р.с. при плавленні та кристалізації металу.

8. Визначають кімнатну температуру і, додавши її до значень, які знайдені з графіка градування, записують температуру метала, яка відповідає кожному моменту вимірювання.

9. Будують графіки залежності температури металу від часу при плавленні і кристалізації.

10. Визначають графічно температуру плавлення та кристалізації і обчислюють середнє значення цих величин.

11. По знайденому середньому значенню температури плавлення встановлюють з яким металом виконувалась робота (див. таблицю). По таблиці знаходять значення питомої теплоти плавлення дня даного металу.

12. За формулою 
$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T} = \pm \frac{m\lambda}{T}$$
 обчислюють змінну ентропії фазового переходу для випадків плавлення та затвердіння металу.

Таблиця

№ п.п.	Метал	Температура плавлення, Тпл	Питома теплота плавлення (кал/г)
1	Алюміній	931,0	92,4
2	Вісмут	524,0	13,0
3	Олово	504,9	14,6
4	Свинець	600,4	5,0
5	Срібло	1233,0	22,0
6	Сурьма	903,5	24,3
7	Цинк	692,5	26,6

### Контрольні запитання

- 1.Що називається фазовим переходом першого роду, другого роду.
- 2.Особливості побудови металу.
- 3.Фізичний зміст зміни ентропії при плавленні та кристалізації твердих тіл.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6

### Мета роботи

1. Самостійна робота по темі [2]. Термічні властивості матеріалів [1].
2. Знайомство з одним із методів визначення теплоємності металів та сплавів.
3. Придбання практичних навиків експериментального визначення коефіцієнта теплоємності металів.

#### 1. Прилади та обладнання:

1. Термопара.
2. Мілівольтметр.
3. Плита для нагрівання зразка.

### Визначення теплоємності металів методом охолодження

#### 2. Теоретичний вступ

Виходячи із закону Дюлонга і Пті атомні теплоємності усіх хімічно простих кристалічних тіл при досить високій температурі однакові і рівні приблизно 6 кал/моль град. Французькі фізики встановили цей закон дослідним шляхом ще в 1819р.

Класична теорія теплоємності твердих тіл підтверджує це положення: грам – атомна теплоємність ( $C_m$ ) твердих тіл буде:

$$C_m = \frac{dU}{dT} = 3R_0 = 6 \text{ кал} \cdot \text{моль}^{-1} \text{ град}^{-1}$$

де  $U$  – внутрішня енергія одного грам-атома речовини (для атомних решіток молекулярна вага співпадає з атомною, так як молекули складаються із одного атома);

$R_0$  – універсальна газова стала, яка дорівнює 2 кал/моль град.

Основний недолік класичної теорії, що вона робить не вірний висновок про незалежність теплоємності твердих тіл від температури. Насправді ця незалежність має місце тільки при високих температурах, при зниженні температури вона зменшується. В таблиці 1 наведено дані для міді.

Таблиця 1

Температура, °C	-252	-240	-39	+20	+50	+115	+180
$C_m$ , кал.г.атом·град	0,12	0,54	5,59	5,74	5,90	6,0	6,10

Вірно пояснити факт зміни теплоємності з температурою спромоглася тільки квантова теорія Дебая.

Розглянемо докладніше методику визначення теплоємності. При охолодженні тверде тіло віддає в зовнішнє середовище тепло. Кількість теплоти  $q$ , відданої тілом за час  $\Delta t$ , визначається формулою:

$$q = \Delta t \int \tilde{n} \rho \frac{dT}{dt} dV. \quad (1)$$

де  $c$  – теплоємність,

$\rho$  – густина,

$T$  – температура тіла.

З другого боку, якщо рахувати, що тепло віддається в зовнішнє середовище тільки через  $S$ -поверхню тіла, то  $q$  можна записати:

$$q = \Delta t \int a(T - T_0) dS, \quad (2)$$

де  $T_0$  – температура навколишнього середовища.

$a$  – коефіцієнт тепловіддачі, який залежить від властивостей поверхні і навколишнього середовища.

Із (1) та (2) маємо:

$$\int c \rho \frac{dT}{dt} dV = \int a(T - T_0) dS. \quad (3)$$

Якщо врахувати, що  $c$ ,  $\rho$ ,  $\frac{dT}{dt}$ ,  $a$ ,  $T$  не залежать від координат, то після інтегрування виразу(3)маємо:

$$-c\rho \frac{dT}{dt} V = a(T - T_0)S. \quad (4)$$

Вираз (4) може бути перетворено до виду:

$$\frac{d(T - T_0)}{T - T_0} = -\frac{aS}{c\rho V} dt. \quad (5)$$

Інтегруємо:  $\int \frac{d(T - T_0)}{T - T_0} = -\frac{aS}{c\rho V} \int dt$ , звідси маємо

$$\ln(T - T_0) = -\frac{aS}{c\rho V} t + const. \quad (6)$$

Інтегрування можливо лише в тому разі, якщо вираз не залежить від температури. А це виконується наближено при малому значенні  $(T - T_0)$ .

Рівняння(6) в координатах  $\ln (T - T_0)$ ,  $t$  представляє собою пряму лінію з кутовим коефіцієнтом

$$\beta = -\frac{aS}{c\rho V}.$$

Побудуємо такі прямі для двох зразків однакової форми і розмірів, але виготовлених із різних металів. Відношення для кутових коефіцієнтів  $\beta$  тоді буде:

$$K = \frac{\beta_1}{\beta_2} = \frac{C_2}{C_1} \cdot \frac{\rho_2}{\rho_1} \cdot \frac{a_1}{a_2}. \quad (7)$$

Поверхні зразків можна обробити таким чином, щоб  $a_1 = a_2$

$$K = \frac{C_2}{C_1} \cdot \frac{\rho_2}{\rho_1}$$

Тоді  $K = \frac{C_2}{C_1} \cdot \frac{\rho_2}{\rho_1}$ , і якщо теплоємність одного зразка відома (наприклад  $C_1$ ), то теплоємність другого визначимо за формулою:

$$C_2 = C_1 k \cdot \frac{\rho_1}{\rho_2} \quad (8)$$

### 3. Опис вимірювальної установки та послідовність виконання роботи

Схема установки показана на рис.1. Електроплитка 1 може переміщатися по двом направляючим стержням у вертикальному напрямі. Зразок 2 представляє одного кінця 3

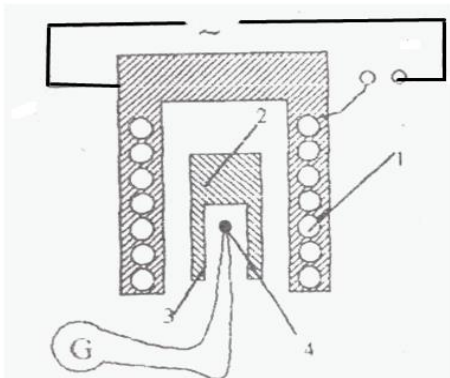


Рис.1 Схема вимірювальної установки

В цьому отворі розміщують термопару 4, кінці якої підведені до гальванометра Г. Температуру зразка знаходять по шкалі гальванометра, використовуючи графік переведу його показників у значення температури спаю термопар.

На початку досліду плита опускається по направляючим стержням до низу, при цьому зразок виявляється повністю всередині неї. Після цього включають джерело струму. Після підігріву зразка до бажаної температури плита швидко підіймається вгору. Нагрітий зразок охолоджується в нерухомому повітрі. Через кожні 10-15 с. записують температуру зразка по показанням гальванометра. Після охолодження зразка до температури нижче  $100^{\circ}\text{C}$  дослід повторюють. Для кожного зразка знімають дві криві охолодження, щоб твердо знати, що не існує випадкових чисел. Зразком є



зразок із міді у якого відома залежність теплоємності від температури. Всі експериментальні результати вимірювань заносять до таблиці.

Таблиця

№	t, сек	Поділки гальванометра	T-T <sub>0</sub> , °C	Ln (T-T <sub>0</sub> )
1				
2				

По знайденим даним будують графік залежності  $\ln(T-T_0)$  від часу (t) для кожного досліджуваного зразка. Потім графік розбивається на такі ділянки, де залежність  $\ln(T-T_0)$  від (t) є приблизно лінійною. Для кожної такої ділянки визначають тангенс кута нахилу прямої до вісі часу і обчислюють значення теплоємності досліджуваного зразка по формулі(8). Значення теплоємності міді при різних температурах беруть із графіка, що в додатку, а густину для міді та досліджуваного зразка із таблиць.

### Контрольні запитання.

1. Що таке теплоємність?
2. Куди іде тепло при нагріванні твердого тіла?
3. В чому суть класичної теорії теплоємності твердих тіл?
4. В чому полягає використана методика визначення теплоємності?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

### Мета роботи

1. Самостійна робота по темі [2]. Фізичні властивості матеріалів [3]. Визначення пористості кераміки.
2. Знайомство з одним із методів експериментального визначення пористості кераміки та диференційної пористості шкіри.
3. Придбання практичних навиків ведення наукових досліджень.

### 1. Прилади та обладнання.

1. Прилад для вимірювання диференційної пористості.
2. Насос для стискання повітря в балоні.
3. Зразок та інертна рідина.

### Визначення загальної пористості кераміки та диференційної пористості шкіри

## 2. Теоретичний вступ

Розглянемо балон в якому стиснуто повітря (рис. 1). Якщо кран 2 відкритий, а на шляху стиснутого повітря розмістити пористий зразок, з загальною площею пор  $S_p$ , то течію повітря через отвір, утворений зразком, можна описати рівнянням Бернуллі:

$$\frac{\rho_1 U_1^2}{2} + P_1 = \frac{\rho_2 U_2^2}{2} + P_2, \quad (1)$$

де  $\rho_1$ ;  $U_1$ ;  $P_1$  – густина повітря, швидкість та тиск його відповідно в балоні.  
 $\rho_2$ ;  $U_2$ ;  $P_2$  – густина повітря, швидкість та тиск його зовні балону.

Так як  $U_1 \ll U_2$  то рівняння (1) запишемо спрощено:

$$U_2 = \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho_2}} \quad (2)$$

Маса повітря в балоні зменшується за час  $dt$  на величину:

$$dm = -\rho_2 U_2 S_{\text{отв.}} dt \quad (3)$$

де  $S_{\text{отв.}}$  – площа отвору, який утворює зразок.

У відповідності з рівнянням Клапейрона-Менделєєва.

$$dP_1 = \frac{RT}{VM} dm, \quad (4)$$

де  $R$  – газова стала,  $V$  – об'єм балона,  $M$  – молярна маса повітря.

Із рівняння (3) та (4) маємо:

$$dP_1 = -c\sqrt{P_1 - P_2} dt, \quad (5)$$

$$C = \frac{\sqrt{2P_2}}{VM} RTS_n.$$

Розв'язуючи рівняння (5) знайдемо:

$$\sqrt{P_1 - P_2} = -\frac{C}{2}t + const, \quad (6)$$

або, враховуючи, що манометр  $M$  показує надмірний тиск, знайдемо:

$$\sqrt{P} = -\frac{C}{2}t + \sqrt{P_0}, \quad (7)$$

де  $P$ ,  $P_0$  – поточний і початковий тиск.

Із (7) видно, що  $\sqrt{P} = f(t)$  є пряма лінія. Кутовий коефіцієнт прямої пропорційний площі фільтруючих пор. Це дає змогу визначати пористість матеріалів за кутовим коефіцієнтом прямої  $\sqrt{P} = f(t)$ , тобто

$$\Pi = \frac{S_{\Pi}}{S_0},$$

де  $S_{\Pi}$  – площа фільтруючих пор,  $S_0$  – площа отвору в шайбі (20 мм).

Крім цього, якщо отвір балона закрити зразком у якого існують наскрізні пори різного радіуса, і якщо до того ж вони заповнені рідиною, то в разі відкриття крана 2, повітря витискує рідину із тих пор, для яких виконується рівність:

$$P = \frac{2\sigma}{r}; \quad (8)$$

де  $P$  – тиск в балоні,  $\sigma$  – поверхневий натяг рідини,  $r$  – радіус пор.

В цьому випадку залежність буде вже не пряма лінія, а деяка крива, тому що із зниженням тиску буде зменшуватись робоча площа отвору, через який виходить повітря. Графічно диференціюючи цю криву лінію можна визначити диференціальну пористість зразка.

### 3. Порядок виконання роботи.

Установка для дослідження диференціальної пористості (Рис.1)

складається із балона з манометром М та чарунки 4 для кріплення зразка. Досліджуваний зразок шкіри має вигляд круга діаметром 40 мм. Його розміщують поміж двома шайбами 5 та 6, які ущільнюються накладною гайкою 3.

Перед вимірюванням диференціальної пористості, на поверхню шкіри наносять 5-6 крапель інертної до колагену шкіри рідини (гас або ксілол).

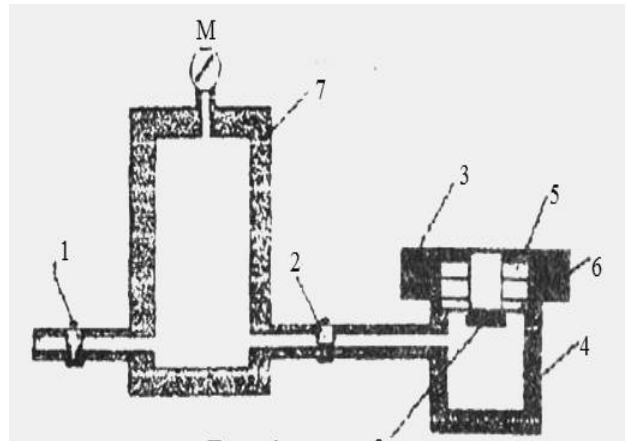


Рис.1 Установка для дослідження диференціальної пористості

Якщо проводять дослідження кераміки, то зразок кераміки, який має форму пластини (3x4 см) товщиною 3-5 мм, наклеюють клеєм ПВА на шайбу 8 з отвором діаметром 5 мм, так щоб закрити отвір. Після сушіння зразок кріпиться в чарунці таким же чином, як і шкіра.

#### Порядок виконання роботи наступний:

1. Закріпити зразок в чарунці.
2. Довести тиск повітря в балоні до  $3 \text{ кг/см}^2$  атмосфер.
3. Відкрити кран 2 і одночасно включити секундомір, записати час на секундомірі для значення тиску  $\sqrt{P} = f(t)$ , які приведені в таблиці ( $3,0 \text{ кг/см}^2$ ,  $2,6 \text{ кг/см}^2$ ,  $2,2 \text{ кг/см}^2$  і т.ін).

4. Побудувати графік в зошиті. Якщо це буде пряма лінія, то необхідно визначити тангенс кута нахилу прямої до вісі абсцис

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{\Delta\sqrt{P}}{\Delta t} \quad (9)$$

5. Для знаходження поверхні фільтруючих пор за формулою  $S = K_{\text{уст.}} \operatorname{tg}\alpha$  необхідно знати сталу установки  $K_{\text{уст.}}$ . Найпростіше для визначення  $K_{\text{уст.}}$  помістити у чарунку замість зразка металеву шайбу з відомим отвором – наприклад, діаметром отвору 2мм, площа калібрувального отвору  $S_k = 3,1 \text{ мм}^2$ . Тоді, виконавши всі операції, вказані в п. 3 та 4, знайдемо  $\operatorname{tg}\alpha$ .

6. Знаходимо пористість зразка, підставляючи в формулу значення  $\operatorname{tg}\alpha$  та  $\operatorname{tg}\alpha_0$ .

На цьому закінчується перша половина роботи.

7. Для знаходження диференціальної пористості пори зразка необхідно заповнити інертною рідиною, тому після закріплення його в чарунці, на його поверхню капають декілька капель гасу або ксилолу. Після цього виконують операції, вказані в пунктах 3 та 4.

8. В цьому випадку будемо мати криву лінію, яку необхідно графічно диференціювати для того, щоб знайти розподіл пор по радіусам за формулою (9)

Для цього її розбивають на трикутники, як показання на рис. 2. і знаходять тангенси кута нахилу для кожного трикутника, які мають узгоджуватись з таблицею 1.

Таблиця 1

№	$P_x \cdot 10^{-5}$ Па	r мкм	$\Delta r$ мкм	t, с.	$\Delta t$ Па <sup>1/2</sup>	$\sqrt{P} \cdot 10^2$ Па <sup>1/2</sup>	$\sqrt{P} \cdot 10^2$ Па <sup>1/2</sup>	$\frac{\Delta\sqrt{P}}{\Delta t}$	$\Delta S$	$\frac{\Delta S}{S_n \Delta r}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	3,0	0,49	–	0	–	5,47	–	I	–	
2	2,6	0,56	0,07	t <sub>1</sub>	t <sub>1</sub> -0	5,10	0,37	II	II-I	
3	2,2	0,66	0,1	t <sub>2</sub>	t <sub>2</sub> -t <sub>1</sub>	4,69	0,41	III	III-II	
4	1,8	0,81	0,15	t <sub>3</sub>	t <sub>3</sub> -t <sub>2</sub>	4,24	0,45	IV	IV-III	
5	1,4	1,04	0,23	t <sub>4</sub>	t <sub>4</sub> -t <sub>3</sub>	3,74	0,50	V	V-IV	
6	1,0	1,46	0,42	t <sub>5</sub>	t <sub>5</sub> -t <sub>4</sub>	3,16	0,58	VI	VI-V	
7	0,6	2,43	0,97	t <sub>6</sub>	t <sub>6</sub> -t <sub>5</sub>	2,50	0,66	VII	VII-VI	
8	0,2	7,3	4,87	t <sub>7</sub>	t <sub>7</sub> -t <sub>6</sub>	1,41	1,09	VIII	VIII-VII	

$$\sum \Delta S = S_n$$

9.  $\Delta S$  – це площа фільтруючих пор, які мають радіуси  $\Delta r = r_1 - r_2$ . Тому диференціальна функція розподілу пор за радіусами має вигляд

$$f(r) = \frac{\Delta S}{S_r \Delta r}$$

$$\sqrt{D \cdot 10^2 \dot{I} \dot{a}}^{-1/2}$$

$$\sqrt{D \cdot 10^2 \dot{I} \dot{a}}^{-1/2}$$

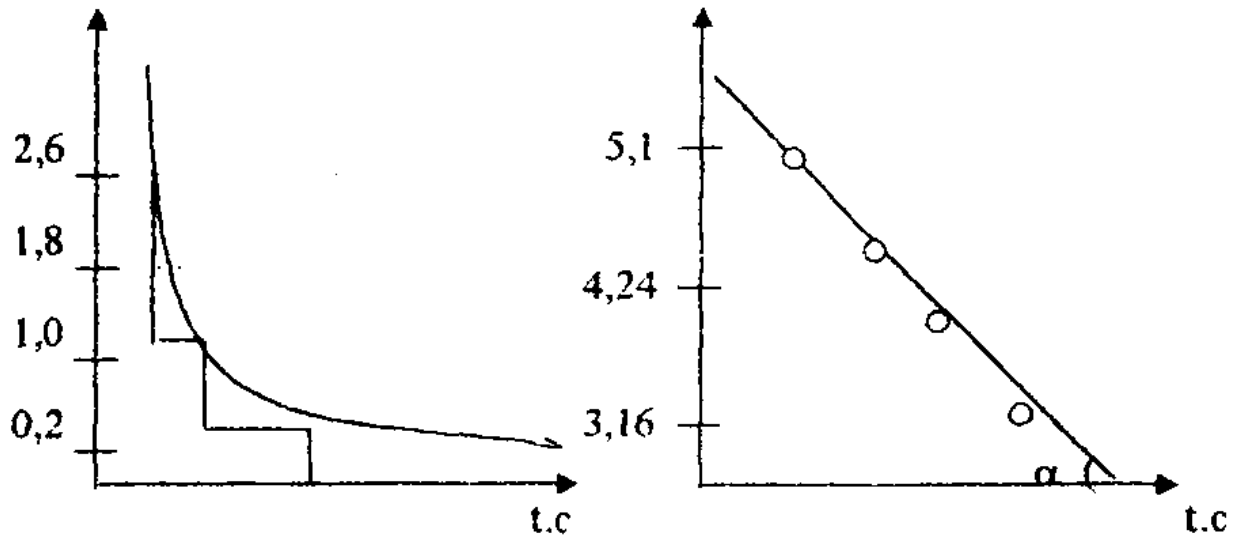


Рис.2 Криву лінію, яка розбита на трикутники,

### Контрольні запитання.

1. Що таке загальна пористість і її вплив на гігієнічні показники шкіри, тканин?
2. Що таке диференційна пористість? Які методи її визначення Ви знаєте?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РОБОТА №8

### Мета роботи

1. Самостійна робота за темою [1]. Паропроникність матеріалів [2].
2. Знайомство з методом вимірювання паропроникності шкіри або тканин.
3. Придбати практичні навички визначення паропроникності шкіри та тканин.
4. Провести дослідження залежності паропроникності шкіри від тиску.

- 1. Прилади та обладнання**
1. Установа для вимірювання паропроникності
  2. Секундомір.
  3. Мензурка об'ємом 0,5л.

## Визначення паропроникності тканин та шкіри

### 2. Теоретичний вступ

Паропроникність разом з повітропроникністю являються важливими показниками при оцінці гігієнічних властивостей тканин, взуття, одягу. Поглинаючи та пропускаючи пари поту, одяг і взуття сприяють утриманню нормальної вологості навколо тіла людини. При недостатній паропроникності пари води конденсуються на внутрішніх поверхнях білизни, взуття і створюють дискомфорт.

Паропроникність, як і повітропроникність, залежить від кількості наскрізних пор на одиницю площини, діаметра пор, тобто від пористості. Але прямої залежності між показниками повітропроникності і паропроникності не помічено.

Розрізняють паропроникність при статичних та динамічних умовах. Статична паропроникність має місце, наприклад, в тому випадку, якщо посудину з водою закрити паропроникним матеріалом (Рис.1).

Відомо, що над поверхнею води в посудині завжди є пар, тиск якого по мірі зростання відстані від поверхні води зменшується. Якщо на шляху пару води встановити перепону в вигляді пористого матеріалу, то дифузія пару через перепону буде повільнішою в порівнянні з відкритим простором.

Частина пару буде дифундувати через пари перепони, а частина – адсорбуватися на нижній поверхні, дифундувати через матеріал і десорбуватися з верхньої (зовнішньої) поверхні.

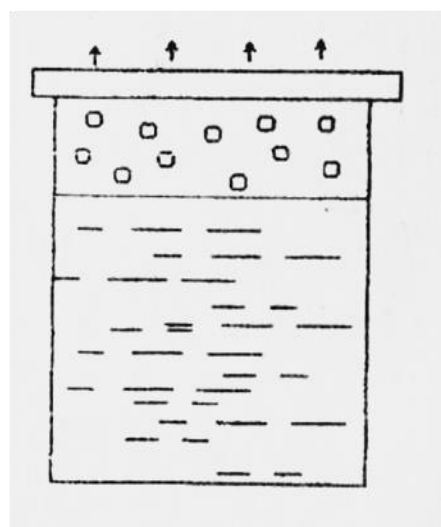


Рис.1 Статична паропроникність

Швидкість статичного випаровування в циліндричних посудинах залежить від тиску, температури, відносної вологості навколишнього повітря і рівня води в посудині. Випаровування води з відкритої посудини завжди більше чим із посудини, поверхня якої закрита паропроникним матеріалом.

Визначають статичну паропроникність в абсолютних та відносних одиницях. За абсолютну паропроникність приймають кількість водяної пари, яка пройшла через одиницю поверхні досліджуваного матеріалу за одну годину за формулою:

$$P_a = \frac{m}{F\tau} \quad (1)$$

де  $P_a$  – абсолютна паропроникність,  
 $m$  – зменшення маси води, мг,  
 $\tau$  – час випробування, год.

Мірою відносної паропроникності є відношення кількості вологи, яка випарувалась через досліджуваний зразок матеріалу, до кількості вологи, яка б випарувалась із відкритої посудини, з однієї і тієї ж поверхні за однаковий час. Вона визначається за формулою:

$$P_0 = \left( \frac{m}{m_0} \right) 100. \quad (\%) \quad (2)$$

де  $m$  – маса водяної пари, яка пройшла через зразок за годину,

$m_0$  – маса водяної пари, яка випарувалась з відкритої посудини за годину.

Відносна паропроникність тканин коливається в межах 20...50%, шкіри 7...70%.

Динамічна паропроникність завжди більше статичної, тому що в цьому випадку, крім процесу сорбції, який відбуватися паралельно, буде відбуватися переніс пари рухливим повітрям.

Кількість пари води  $P$ , яка разом з повітряним потоком проникає через пористий матеріал, можна визначити

$$P = \frac{V G_g \varphi}{F \Delta t} \cdot \frac{\text{мг}}{\text{см}^2} \quad (3)$$

де  $V$  – об'єм повітря, яке пройшло через зразок під тиском;

$G_g$  – кількість мг пари в 1 мл повітря при повному його насиченні при температурі  $t$ ;

$\varphi$  – відносна вологість повітря в долях одиниць;

$F$  – робоча поверхня досліджуваного зразка;

$\Delta t$  – час дослідження, год.

### 3. Установа для вимірювання

Установа складається із вимірювального скляного циліндра 2 (Рис.2), в який наливається вода через кран 1. Зразок капілярно-пористого тіла (видає викладач) 5 кріпиться у вимірювальній чарунці поміж ущільнювальних резинових прокладок 7 накидною гайкою 8. Чарунка для зразка з'єднана з скляним циліндром 2 гумовою трубкою 9.

Установа працює таким чином. Після заповнення водою скляного циліндра кран 1 закриваємо і відкриваємо кран 3, одночасно включаємо секундомір.

Записують одночасно рівень води в скляному циліндрі і час по секундоміру, тобто  $h=f(\tau)$ . Кількість води, яка вилілась із скляного циліндра за час  $\tau$ , дає нам об'єм повітря  $V$ , яке пройшло через зразок за цей же час.

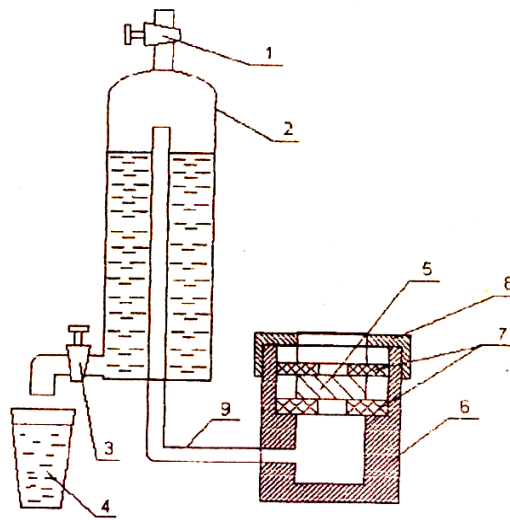


Рис.2 Установа для вимірювання

Наприклад, якщо за час  $\tau = \tau_1 - \tau_2$  тиск у скляному циліндрі знизився від  $h_1$  до  $h_2$ , тобто на  $\Delta h = h_1 - h_2$ , то об'єм повітря, яке пройшло через зразок при середньому тиску буде дорівнювати:

$$V = \frac{3,14D^2\Delta h}{4}, \quad (4)$$

де  $D$  – діаметр скляного циліндра (внутрішній).

Таким чином із формули (3) видно, що при обчисленні паропроникності, якщо кожного разу брати однакові інтервали значення, то об'єм повітря, яке пройшло через зразок, буде мати однакове значення, що полегшує в цілому розрахунки паропроникності по формулі (3) в залежності від тиску  $h$ .

#### 4. Порядок виконання роботи

1. Розміщують зразок капілярно-пористого тіла (шкіри або тканини) в чарунці та кріплять його накладною гайкою.
2. Наливають воду в скляний циліндр ( $h=40$ см); для цього закривають кран 3 (якщо він відкритий) і відкривають кран 1.
3. Відкривають кран 3 (попередньо закривши кран 1) і включають секундомір. Записують одночасно значення часу по секундоміру та висоту рівня води в циліндрі (через кожні 4см).

Таблиця 1

Тиск, $h$ мм. вод.ст.	400	360	320	280	240	200	160	120	80	40
Час $\tau$ , с	0	$\tau_1$	$\tau_2$	$\tau_3$	$\tau_4$	$\tau_5$	$\tau_6$	$\tau_7$	$\tau_8$	$\tau_9$
Тиск $h$ середній мм.вод.ст.		380	340	300	260	220	180	140	100	60
Паропроникність, $P$ , мг/см <sup>2</sup> год		$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$	$P_6$	$P_7$	$P_8$	$P_9$



4. Записують значення часу  $\tau$  та тиск  $h$  в таблицю. Визначають середній тиск  $h_{cp} = (h_1+h_2)/2$  та записують його значення в таблицю 1.
5. Вимірюють діаметр отвору в чарунці  $d$  і обчислюють робочу поверхню зразка  $F = 3,14d^2/4$ .
6. По значенню температури повітря в лабораторії визначають із таблиці 2 значення тиску насиченої пари в повітрі.
7. Використовуючи лабораторний психометр, визначають відносну вологість повітря в долях одиниць.

Таблиця 2

Температура в лабораторії, °С	10	12	14	15	20	25	30
Тиск водяного насиченого пару, Па	1223	1356	1596	1809	2328	3165	4229

8. По формулі (3) обчислюють паропроникність в залежності від середнього тиску. Причому  $\Delta\tau$  – це різниця між попереднім значенням часу і наступним.

Так, при визначенні  $P_9$  необхідно брати,  $\Delta\tau = \tau_9 - \tau_8$ , а при визначенні  $P_8$  -  $\Delta\tau = \tau_8 - \tau_7$  і так далі.

9. Будуємо графік залежності паропроникності від тиску  $P=f(h)$ .

### Контрольні запитання

1. Яку роль паропроникність відіграє при оцінці гігієнічних властивостей одягу або взуття?
2. Як визначається паропроникність капілярно-пористних матеріалів?
3. З якими гігієнічними показниками пов'язана паропроникність?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №9

### Мета роботи

1. Самостійна робота по темі [2]. Механічні властивості матеріалів [5]. Статичне випробування.
2. Знайомство з одним із методів експериментального визначення модуля зсуву для металів.
3. Придбання практичних навиків визначення модуля зсуву для різних металів.

- 1. Прилади та обладнання**
1. Установа для вимірювання модуля зсуву.
  2. Секундомір.
  3. Допоміжні ваги.
  4. Теоретичний вступ.

## Визначення модуля зсуву металів

### 2. Теоретичний вступ

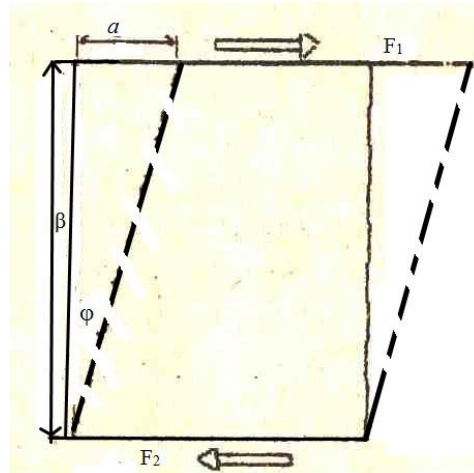


Рис.1 Тіло, яке має форму паралелепіпеда і прикладено до його протилежних граней дотичні сили  $F_1$  та  $F_2$

Візьмемо тіло, яке має форму паралелепіпеда і прикладемо до його протилежних граней дотичні сили  $F_1$  та  $F_2$  (Рис. 1.). В будь-якому перерізі тіла, який паралельний цим граням, виникає тангенціальна напруга

$$\tau = \frac{F}{S} \quad (1)$$

де  $S$  – площа грані.

Під дією напруги тіло деформується так, що одна грань зміщується відносно другої на деяку відстань  $a$ , а кожний шар паралельний грані прикладання сил, буде зсунутий відносно сусідніх з ним шарів. Тому така деформація має назву зсуву. В якості характеристики деформації зсуву береться величина  $\gamma = a/b = \text{tg}\phi$ , яка називається відносним зсувом. Досліди показують, що відносний зсув пропорційний тангенціальній нарузі (закон Гука ).

$$\gamma = \frac{1}{G} \tau \quad (2)$$

Коефіцієнт  $G$  залежить тільки від властивостей матеріалу і називається модулем зсуву.

### 3. Методика визначення модуля зсуву

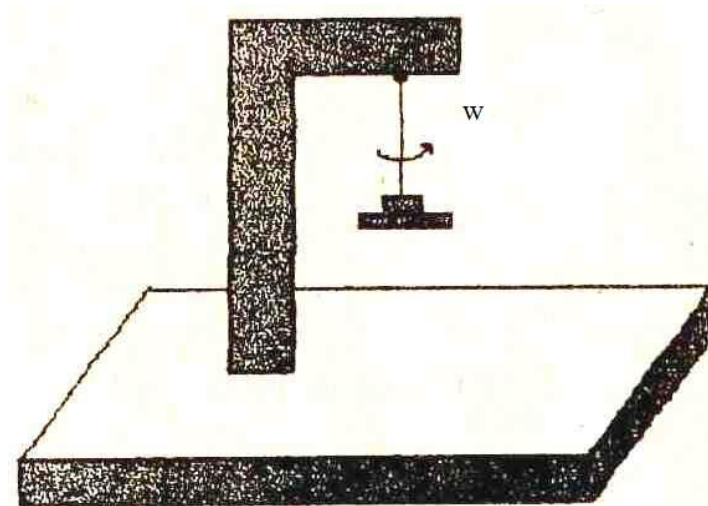


Рис.2 Прилад з металевим диском, закріпленого зверху на кранштейн

Для визначення модуля зсуву в теперішній роботі використовують крутильні коливання диска.

Прилад для даної роботи складається з однорідного металевого диска, що до нього підвішено на кінці металевого дроту, закріпленого зверху на кранштейн (Рис. 2). Момент інерції диска може змінюватись, якщо на виступи, які розташовані по двом концентричним колам (по 4 штуки, на кожному) радіуса  $R_1$  та  $R_2$ , надіти спеціальні тягарі. Якщо тягарі надіти на виступи, які розташовані на першому колі, то момент інерції диска буде  $I_1$ , а якщо переставити тягарі на виступи другого кола – то  $I_2$ . Якщо диск здійснює крутильні коливання, то період таких коливань в першому випадку (коли момент інерції диска  $I_1$ ) можна записати  $T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{I_1}{f}}$ , а в другому  $T_2 = 2\pi \sqrt{\frac{I_2}{f}}$  (де  $f$  – модуль кручення дроту). Звідси можемо записати:

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{I_1}{I_2} \quad (3)$$

Момент інерції крутильного маятника можна представити, як момент інерції грузиків плюс момент інерції диска та дроту  $I_1$  тобто

$$I_1 = 4m R_1^2 + I, \quad I_2 = 4m R_2^2 + I.$$

Для того, щоб виключити невідоме  $I$  віднімемо  $I_1$  із  $I_2$   
 $I_2 - I_1 = 4m (R_2^2 - R_1^2)$ . Підставимо сюди значення  $I_2$  із (3) знайдемо

$$I_1 = \frac{4m T_1^2 (R_2^2 - R_1^2)}{T_2^2 - T_1^2}. \quad (4)$$

Якщо це значення тепер підставити в формулу для періода крутильних

коливань  $T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{I_1}{f}}$  і знайти модуль крутіння, то будемо мати:

$$f = \frac{16\pi^2 m(R_2^2 - R_1^2)}{T_2^2 - T_1^2} \quad (5)$$

Між модулем крутіння та модулем зсуву матеріалу дроту існує просте співвідношення:

$$G = \frac{32L\pi m(R_2^2 - R_1^2)}{(T_2^2 - T_1^2)r^4} \quad (6)$$

де  $r$  – радіус дроту,  $L$  – його довжина.

Величину цього модуля рекомендовано обчислювати в  $H/mm^2$  і  $H/m^2$ .

#### 4. Порядок виконання роботи.

Роботу виконують таким чином: надівають на крайні виступи диска (найбільш віддалені від вісі обертання) чотири грузика. Трохи закручують диск навколо вісі обертання за годинниковою стрілкою і відпускають. Після цього.

1. Включають секундомір і визначають загальний час 50 повних коливань маятника і обчислюють період коливання по формулі:  $T_1 = t_1/n$  (де  $t_1$  – загальний час  $n$  повних коливань).

2. Переставивши тягарі на внутрішні виступи диска, таким же способом вимірюють період коливань  $T_2 = t_2/n$ .

3. Визначають відстань вісі тягарів від вісі обертання диска, їх масу. Крім цього, радіус дроту та його довжину.

4. Всі знайдені величини підставляємо в формулу (6) і знаходимо модуль зсуву для даного металу.

#### Контрольні запитання

1. Які коливання використовуються в роботі для визначення модуля зсуву?
2. Чим відрізняються між собою модуль крутіння та модуль зсуву? Як вони пов'язані між собою?
3. Що характеризує модуль зсуву, від чого залежить. Яке відношення він має до модуля пружності?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 10

### Мета роботи

1. Самостійна робота по темі [4]. Будова злитків [5]. Механізм процесу кристалізації сплавів. [3]. Мікроструктура та властивості чугуна.
2. Придбання навиків визначення розмірів зерен на поверхні шліфа.
3. Знайомство з методами кількісного металографічного аналізу металів та сплавів.

#### 1. Прилади та обладнання

1. Металмікроскоп.
2. Фотокартка.
3. Лінійка.

### Дослідження структури металів і сплавів – кількісний металографічний аналіз

Методи кількісної металографії необхідні для визначення характеристик багатьох важливих особливостей структури: величини зерна однофазних металів, величини включень або зерен окремих фаз, присутніх у сплаві, площі границь зерен, хімічний склад сплаву тощо. Майже всі методи, які застосовуються в кількісному металографічному аналізі, є статистичними. Звідси точність вимірювань залежить від їх кількості.

Вивчення в мікроскопі структури металів і сплавів, а також неметалічних твердих матеріалів, можливе тільки завдяки достатньо інтенсивному відбиванню світлових променів від досліджуваної поверхні. Звідси поверхня зразка повинна бути спеціально підготовлена. Зразок поверхня якого підготована для мікроаналізу, називається мікрошліфом. Для виготовлення шліфа необхідно вирізати абразивним кругом зразок із досліджуваного матеріалу (висотою 10-15 мм, площа поверхні 1-4 см<sup>2</sup> або циліндр діаметром 10 мм.) і одержати на ньому плоску поверхню. Далі процес виготовлення шліфів включає операції шліфування та полірування.

### 2. Визначення величини зерна

#### 2.1. Метод визначення величини зерна за розрахунком кількості зерен, які знаходяться на одиниці поверхні шліфа

На матовому склі мікроскопа або на мікрофотографії вибирають характерне поле зору, яке відповідало б визначеній площі поверхні шліфа, так, при збільшенні  $\times 100$  площа шліфа, яка дорівнює 0,5 мм<sup>2</sup>, буде обмежена колом діаметром 80 мм, або квадратом із стороною 70,7 мм. На вибраній площі підраховують спільне число зерен за формулою

$$n = n_1 + 0,5 n_2, \text{ (для круга),} \quad (2.1)$$

$$n = n_1 + 0,5 n_2 - 1 \text{ (для квадрата)} \quad (2.2)$$

де  $n_1$  – число цілих зерен в середині вибраної фігури,  
 $n_2$  – число зерен перетнутих їх кордонами.

Число зерен, що розташовані на  $1 \text{ мм}^2$  площі поверхні шліфа, дорівнює  $m = 2n$ . При збільшенні, яке відмінно від 100,

$$m = 2 \left( \frac{g}{100} \right)^2 n_g \quad (2.3)$$

де  $g$  – застосоване збільшення,

$n_g$  – число зерен, підраховане при цьому збільшенні.

Підрахунок зерен проводять не менш ніж для трьох характерних полів зору та визначають середнє арифметичне значення  $m_{\text{сер}}$ . Середню площу перерізу зерна ( $F_{\text{сер}}$ ) та середній діаметр ( $d_{\text{сер}}$ ) визначають за формулами:

$$F_{\text{сер}} = \frac{1}{m} \quad d_{\text{сер}} = \frac{1}{\sqrt{m}}. \quad (2.4)$$

Якщо на матовому склі або мікрофотографії відшукати квадрат площею  $S$ , відмінною від  $0,5 \text{ мм}^2$ , то необхідно виміряти лінійкою сторону квадрата та визначити істинну площу квадрата на шліфі за формулою:

$$S_{\text{іст.}} = \frac{S}{g^2}; \quad (2.5)$$

Тоді кількість зерен, які знаходяться на одиниці площі шліфа:

$$m = \frac{n_{\bar{n}\bar{d}}}{S_{\bar{n}\bar{d}}}; \quad (2.6)$$

де  $n_{\text{сер}}$  – кількість зерен у квадраті.

Середня площа зерна дорівнює:

$$F_{\text{сер}} = \frac{S_{\bar{n}\bar{d}}}{n_{\text{ср}}}; \quad (2.7)$$

Кількість зерен в одиниці об'єму:

$$n_v = m^{\frac{3}{2}}. \quad (2.8)$$

## 2.2. Вимірювання середнього умовного діаметра зерна або кількості зерен в $1 \text{ мм}^2$

Якщо структура рівноважна, то на мікрофотографії або на матовому склі необхідно провести в різних напрямках декілька прямих ліній довільної довжини (Рис. 1.). Кожна лінія повинна перетинати не менш 10 зерен. Підраховують точки перетину прямих ліній із границями зерен. Якщо кінці ліній закінчуються на самому зерні, а не на границі, то два кінцевих зерна приймаються за одне. Потім визначають сумарну натуральну довжину відрізків

в мм  $\Sigma L$  та сумарне число перетнутих зерен.  $\Sigma n$ . Умовний діаметр зерна  $d_{ум}$  визначається із відношення:

$$d_{ум} = \frac{\sum L}{\sum n} \quad (2.9)$$

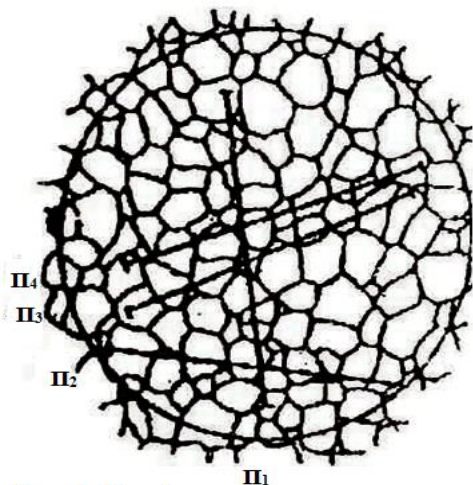


Рис.1 Вимірювання середнього умовного діаметра зерна

Якщо структура дрібнозерниста або крупнозерниста, то визначення проводять при збільшенні, яке більше або менш 100 відповідно. У цьому випадку для визначення натуральної довжини відрізків виміряну довжину розділяють на збільшення, яке застосовується, інші визначення проводять так, як і попередні. Точність вимірювань залежить від кількості проведених ліній і полів зору та зростає при їх збільшенні, середнього умовного діаметра зерна трьох. Кількість полів зору повинна бути не менш трьох. Результати обчислень необ -хідно записати у вигляді таблиці 1.

Таблица 1

№ поля зору	Збільшення	$n_1$	$n_2$	Загальна кількість зерен $n$ на $0,5 \text{ мм}^2$	Кількість зерен $m$ на $1 \text{ мм}^2$ шліфа $\text{мм}^{-2}$	Середня площа зерна $F_{сер}, \text{ мм}^2$	Число зерен в одиниці об'єму $n_v, \text{ мм}^{-3}$	Умовний діаметр зерна $d_{ум}, \text{ мм}$

### 3. Визначення питомої поверхні розділу фаз і зерен

Сумарна площа границь розділу фаз або зерен в одиниці об'єму  $V$  зразка називається питомою граничною поверхнею розділу  $\Sigma S$ . Для визначення питомої поверхні розділу застосовують метод випадкових січних і метод Кайзера.

### 3.1. Метод випадкових січних

Метод випадкових січних, який застосовується для вимірювань питомої протяжності ліній на площі, розроблений С.А. Салтиковим, заснований на тому, що сумарна площа поверхонь в одиниці об'єму ( $\Sigma S$ ) дорівнює подвоєному числу точок перетину випадкових січних ліній з цими поверхнями розділу зерен або фаз, які відносяться до одиниці довжини січних:

$$\sum S = 2m \quad (3.1)$$

де  $m$  – середнє число точок перетину,  $\text{мм}^{-1}$ , яке вимірюється із відношення:

$$m = \frac{\Sigma K}{\lambda Z} \quad (3.2)$$

де  $K$  - сумарна кількість точок перетину в усіх полях зору.  
 $Z$  – число полів зору,  
 $\lambda$  – довжина січної.

Це відношення дійсне, якщо січні лінії зорієнтовані в просторі випадково, внаслідок чого рівноймовірний будь який кут зустрічі в просторі січної лінії з площадкою межуючих поверхонь. Найбільш точний результат одержують при рівномірному розподілі січних по шліфу.

#### Визначити величину питомої поверхні

- Роль січної може грати окуляр із січною-мікрометром або, якщо зображення перевести на матове скло, квадрат із відомим периметром або його сторона.
- Підрахувати число перетинів  $K$  із січною  $\lambda$  в декількох полях зору з тим, щоб спільне число перетинів було не менше 50-70.
- Розрахувати дійсну довжину  $L_{\text{дійсн.}}$ .

$$L_{\text{дійсн.}} = \frac{\lambda \Sigma}{M} \quad (3.3)$$

де  $M$  – збільшення.

- Розрахувати середнє число точок перетинів на одиниці довжини січної  $t$  (за формулою 3.1.).  
 Одержані результати записати у вигляді таблиці 2.

Таблиця 2

№ поля зору	$K$	$\lambda$	$M$	$L_{\text{дійсн.}}$	$M$	$\Sigma S, \text{мм}^{-1}$ м-д випадкових січних	$\Sigma S, \text{мм}^{-1}$ м-д Кайзера



### 3.2. Метод Кайзера

Метод Кайзера полягає в тому, що якщо невідоме число зерен в  $1 \text{ мм}^3$  яке дорівнює  $n_\gamma$ , то можна наближено визначити питому поверхню зерен в зразку за формулою:

$$\sum S = a^3 \sqrt{n_\gamma} \quad (3,4)$$

де  $a$  – числовий коефіцієнт, який залежить від форми зерна. Якщо припустити, що зерна мають форму ромбічного додекаедра, то  $a \approx 2,67$ . Для розрахунку  $\sum S$  по Кайзеру слід взяти дані із таблиці 1.

### 4. Визначення відносної концентрації фаз у сплаві

Головний принцип, на якому базується визначення відносної концентрації фаз у багатофазових сплавах, полягає в тому, що об'ємна частка даної фази дорівнює відносній площі, яку займає ця фаза в довільному перерізі зразка, а також частку її на довільній лінії, яка проходить через зразок сплаву.

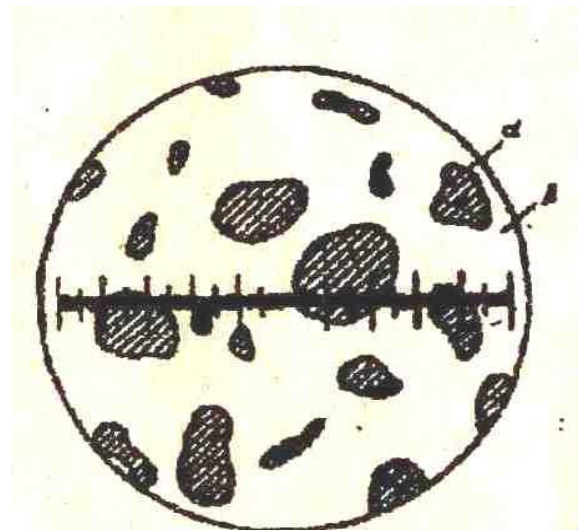


Рис.2 Схема визначення об'ємної частки  $\alpha$  фази  $\beta$ -матричному розчині лінійним методом

### Лінійний метод (метод Розивалія)

Лінійний метод фазового (структурного) складу сплаву зводиться до вимірювання та підсумування довжин відрізків прямої лінії, яка проходить через дану фазу (або структурну складову), на визначеній довжині січної прямої

Сутність лінійного метода полягає в тому, що видима в мікроскопі або на мікрофотографії структура, яка складається із довільної кількості фаз, перетинається прямою лінією або рядом ліній (Рис. 2.).

Якщо окремо підсумувати довжини відрізків, які потрапили на кожну із фаз структури  $\sum a_i$  та розділити суми на спільну довжину січних ліній  $L$ , то одержані значення будуть відповідати часткам площі шліфа або об'єму сплаву, які займають кожну із цих фаз.

Точність метода тим вища, чим довші січні лінії, які проведені на шліфі або мікрофотографії. Лінії можна провести довільно, необхідно, щоб вони охоплювали всю площу, яку ми аналізуємо і були рівномірно по ній розподілені. Практично лінійний метод може бути здійснений за допомогою об'єкт-мікрометра (Рис. 2.).

Сумарна довжина відрізка осьової лінії об'єкт-мікрометра, яка лежить на заштрихованій фазі ( $a$ ), дорівнює  $\sum ai$ , тоді об'ємний вміст фази  $a$  в сплаві вимірюють за формулою:

$$V_a = \frac{\sum ai \cdot 100\%}{L} \quad (4.1)$$

де  $L$  – довжина шкали об'єкт-мікрометра.

Якщо число складових фаз в сплаві більше двох, вимірюють та підсумовують довжини відрізків осьової лінії лінійки для кожної із них. При цьому фазу з найбільшою об'ємною часткою одержують різницею суми об'ємних часток фаз, що залишаються із 100%. Довжини відрізків оцінюють цілим числом поділок, при цьому похибка вимірювання тим менша, чим довші відрізки, тобто чим крупніша структура і більше збільшення.

Якщо відомі густини фаз, які входять до сплаву ( $\rho_a$ ,  $\rho_\beta$ ) то можна розрахувати вагову кількість фаз, наприклад  $a$  за формулою:

$$P_a = \frac{V_a \cdot \rho_a}{V_a \cdot \rho_a + V_\beta \cdot \rho_\beta} \quad (4.2)$$

Точність лінійного методу залежить від числа виміряних в процесі аналізу відрізків, а також залежить від об'ємної частки структурної складової або фази, її дисперсності.

### Контрольні запитання

1. Які Ви знаєте методи визначення розмірів зерна?
2. Як визначити питому поверхню зерен металів?
3. В чому полягає метод Кайзера?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №11

### Мета роботи

1. Самостійна робота по темі [2]. Дослідження та розтяг металів [5]. Статичні дослідження металів.
2. Знайомство з методами експериментального визначення модуля пружності металів.

3. Придбати практичні навички наукових досліджень при подовженні дроту при його навантаженні.

- 1. Прилади та обладнання**
1. Прилад для вимірювання абсолютного подовжування дроту.
  2. Ваги (тягарі).

## Визначення модуля пружності металів

### 2. Теоретичний вступ

Розглянемо деформації, які зустрічаються в даній роботі.

Деформація розтягу. Її можна здійснити, якщо один кінець стержня або дроту закріпити, а до другого прикласти розтягуючу силу  $P$  (тягар). Під дією прикладеної сили стержень видовжиться на  $\Delta l$ . Закон Гука стверджує: напруга пружної деформації розтягу пропорційна відносному видовженню зразка,

$$G_n = \frac{P}{S} = E \frac{\Delta l}{l} \quad (1)$$

де  $E$  – модуль пружності або модуль Юнга, що залежить від речовини стержня (дроту) і його фізичного стану,

$l$  – початкова довжина стержня,

$S$  – поперечний переріз стержня.

Узявши у виразі (1)  $\Delta l/l = 1$ , знаходимо, що модуль Юнга чисельно дорівнює нарузі, яка виникла б при збільшенні довжини зразка в два рази при інших незмінних умовах.

Вигин. Якщо прями́й пружний стержень нерухомо закріпити одним кінцем в стіні, а другий кінець навантажити тягарем  $P$ , то цей кінець опуститься, тобто стержень зігнеться. Легко збагнути, що при цьому верхні шари стержня будуть розтягуватися, нижні стискуватися, а деякі середні шари будуть зберігати свою довжину і тільки будуть вигинатися. Переміщення  $\lambda$ , яке буде мати вільний кінець стержня, називають стрілою вигину. Стріла вигину буде тим більша, чим більше навантаження, і крім цього, вона повинна залежати від форми і розмірів стержня і від його модуля пружності. Для стержня довжини  $L$  ширини  $a$  і висоти  $b$  стріла вигину записується:

$$\lambda = \frac{4PL^3}{Eab^3}; \quad (2)$$

де  $E$  – модуль Юнга стержня,

$P$  – навантаження, яке прикладено до вільного кінця стержня.

Якщо стержень буде обома кінцями вільно покладений на тверді опори і навантажений в середині тягарем  $P$ , то стріла вигину знайдеться також із рівняння (2), але замість величини  $P$  необхідно буде поставити  $P/2$ , а замість  $L$  – величину  $L/2$ . Тоді стріла вигину буде дорівнювати

$$\lambda = \frac{PL^3}{4Eab^3}, \quad \text{звідси} \quad E = \frac{PL^3}{4ab^3\lambda}. \quad (3)$$

### Вправа 1.

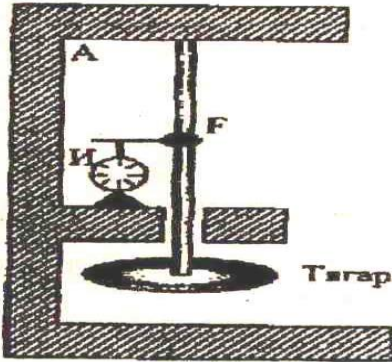


Рис.1 Прилад для визначення модуля пружності

### 3. Визначення модуля пружності із розтягу дроту.

Прилад складається з кронштейна, який служить для закріплення дроту із досліджуваного матеріалу (сталь). На другому кінці дроту кріпиться тягар на який можна класти ваги для створення подовження дроту.

При навантаженні тягара вагами дріт подовжується і прапорець  $F$  буде рухатись вниз, надавлюючи на шток індикатора  $I$ , який покаже подовження дроту  $\Delta l$ .

#### **Вимірювання.**

1. Масштабною лінійкою вимірюють довжину дроту від точки  $A$  до прапорця  $F$  (в мм.)
2. Вимірювання діаметра дроту штангенциркулем необхідно виконати декілька разів в різних місцях і із знайдених величин взяти середнє арифметичне.
3. Поступово навантажуючи тягар вагами один за другим (на кожному із них вказана його вага) по індикатору відмічають на скільки міліметрів подовжується дріт при цьому  $\Delta l$ .
4. Також послідовно, але уже в оберненому порядку, знімають ваги з тягара і знову записують подовження дроту  $\Delta l$  по індикатору. Якщо значення подовжень  $\Delta l$  не співпадають з попередніми, то беруть середнє значення із двох вимірювань.
5. Будуємо графік залежності подовження дроту від його навантаження, тобто:

$$G = \frac{P}{S} = f\left(\frac{\Delta l}{l}\right).$$

При побудові графіка необхідно всі вимірювальні величини представити в системі СІ. Необхідно переконатися, що має місце лінійна залежність.

6. Знайти тангенс кута нахилу прямої до вісі  $y$ . Із формули (1) випливає

$$t_g = E = \frac{Pl}{S\Delta l}.$$

## Вправа 2.

### **Визначення модуля пружності із розтягу дроту**

складається і масивної платформи MN з двома стійками на кінцях. На стійках закріплені сталеві призми так, що ребра їх паралельні між собою. Для вимірювання стріли вигину використовують індикатор *I*, який розташований на полиці: *a'b'* а зверху на нього тисне прапорець *F* (рис.2).

Вимірювання. На призми приладу кладуть стержень із матеріалу, що досліджується так, щоб його середина *C* співпала з серединою відстані між *A* і *B* (на кожному стержні середина його, а також точки *A* і *B* помічені фарбою). В

точці *C* на стержень підвішують тягар для накладання ватів.

1. Послідовно навантажують тягар вагами величиною 1,2 та 3 кг. Кожного разу роблять відліки по індикатору, наскільки міліметрів вигинається стержень.

2. Виконують цю ж операцію в зворотньому порядку, тобто розвантажують поступово стержень, відмічаючи кожного разу його вигин. Переміщення середини стержня *cc'* і є його стріла вигину. Індикатор дозволяє знаходити її безпосередньо в мм.

Необхідно побудувати графік зміни стріли вигину стержня в залежності від навантаження для того, щоб переконатися, що має місце лінійна залежність.

3. Вимірюють довжину стержня *L*, тобто відстань між ребрами призми, на які він спирається, і сторони *a* та *b* прямокутного перерізу стержня. Вимірювання довжини стержня виконують масштабного лінійною з точністю до 1 мм, а довжину і ширину перерізу стержня - мікрометром з точністю до 0,01 мм. Користуючись даними вимірювань, обчислюють модуль пружності за формулою (3) для кожного навантаження, а потім представляють результат розрахунку, як середнє арифметичне із всіх вимірювань в одиницях  $\text{П/м}^2$ .

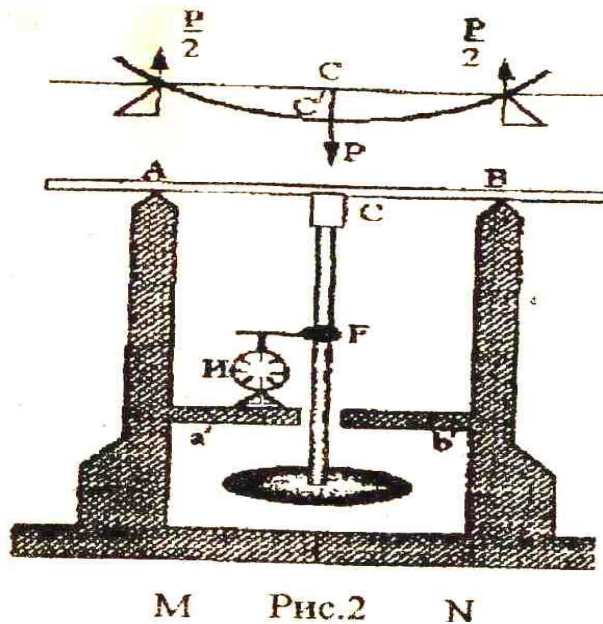


Рис.2 Прилад для вимірювання стріли вигину

### **Контрольні запитання**

1. Що таке модуль пружності для металів. Що він характеризує? Від чого залежить?
2. Чи принципова різниця при визначенні модуля пружності із розтягу та вигину стержня?

Таблиця градування термопар хромель-копель  
при температурі вільних кінців 0°C

Т-ра робочого спаю, °C	Термо-ЕРС, EmV									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	0,07	0,13	0,20	0,26	0,33	0,39	0,46	0,52	0,59
10	0,65	0,72	0,78	0,85	0,91	0,98	1,05	1,11	1,18	1,24
20	1,31	1,38	1,44	1,51	1,57	1,64	1,70	1,77	1,84	1,91
30	1,98	2,05	2,12	2,18	2,25	2,32	2,38	2,45	2,52	2,59
40	2,66	2,73	2,80	2,87	2,94	3,00	3,07	3,14	3,21	3,28
50	3,35	3,42	3,49	3,56	3,63	3,70	3,77	3,84	3,91	3,98
60	4,05	4,12	4,19	4,26	4,33	4,41	4,48	4,55	4,62	4,69
70	4,70	4,83	4,90	4,98	5,05	5,12	5,20	5,27	5,34	5,41
80	5,48	5,56	5,63	5,70	5,78	5,85	5,92	5,99	6,07	6,14
90	6,21	6,29	6,36	6,43	6,51	6,58	6,65	6,73	6,80	6,87
100	6,95	7,03	7,10	7,17	7,25	7,32	7,40	7,47	7,54	7,62
110	7,69	7,77	7,84	7,91	7,99	8,06	8,13	8,21	8,28	8,35
120	8,43	8,50	8,58	8,65	8,73	8,80	8,88	8,95	9,03	9,10

Щоб визначити температуру за даними ЕРС термопари треба знайти найближче за значенням у таблиці та зі строки у першому стовпці визначити десятки градусів, а з номера стовпця – одиниці градусів вашої температури (°C).

Таблиця градування термопар хромель-копель  
при температурі вільних кінців 0°C

Т-ра робочого спаю, °C	Термо-ЕРС, мВ									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-30	-1,14	-1,18	-1,21	-1,25	-1,28	-1,32	-1,36	-1,40	-1,43	-1,46
-20	-,077	-0,81	-0,84	-0,88	-0,92	-0,96	-0,99	-1,03	-1,07	-1,10
-10	0,39	-0,43	-0,47	-0,51	-0,55	-0,59	-0,62	-0,66	-0,70	-0,74
0	0	-0,04	-0,08	-0,21	-0,16	-0,20	-0,23	-0,27	-0,31	-0,35
0	0	0,04	0,08	0,12	0,16	0,20	0,24	0,28	0,32	0,36
10	0,40	0,44	0,43	0,52	0,56	0,60	0,64	0,68	0,72	0,76
20	0,80	0,84	0,88	0,92	0,96	1,00	1,04	1,08	1,12	1,16
30	1,20	1,24	1,28	1,32	1,36	1,41	1,45	1,49	1,53	1,57
40	1,61	1,65	1,69	1,73	1,77	1,82	1,86	1,90	1,94	1,98
50	2,02	2,06	2,10	2,14	2,18	2,23	2,27	2,31	2,35	2,39
60	2,43	2,47	2,51	2,56	2,60	2,64	2,68	2,72	2,77	2,81
70	2,85	2,89	2,93	2,97	3,01	3,06	3,10	3,14	3,18	3,22
80	3,26	3,30	3,34	3,39	3,43	3,47	3,51	3,55	3,60	3,64
90	3,68	3,72	3,76	3,81	3,85	3,89	3,93	3,97	4,02	4,06
100	4,10	4,14	4,18	4,22	4,26	4,31	4,35	4,39	4,43	4,47
110	4,51	4,55	4,59	4,63	4,67	4,72	4,76	4,80	4,84	4,88
120	4,92	4,96	5,00	5,04	5,08	5,13	5,17	5,21	5,25	5,29
130	5,33	5,37	5,41	5,45	5,49	5,53	5,57	5,61	5,65	5,69

Щоб визначити температуру за даними ЕРС термопари треба знайти найближче за значенням у таблиці та зі строки у першому стовпці визначити десятки градусів, а з номера стовпця – одиниці градусів вашої температури (°C).

## ПОРЯДОК ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ПО ВЕЛИЧИНІ ТЕРМО-ЕРС ТЕРМОПАРИ

Якщо другий вільний спай термопары знаходиться при температурі 0°C (у льоді, що тане, термостаті), то величина температури робочого спаю визначаються за стандартним градуванням даної термопары (див. Додатки 1 і 2). Однак часто термопара підключається до приладу або перемикача безпосередньо, тобто другий ("холодний", вільний) спай знаходиться при кімнатній температурі  $t_k$ . Тому необхідно правильно визначити температуру об'єкту, знаючи величину кімнатної температури  $t_k$ .

В цьому випадку *порядок розрахунку температури* наступний:

1. Зміряти температуру в кімнаті  $t_k$
2. По градуванню робочої термопары (див. Додатки 1 або 2) визначити величину термо-ЕРС  $E_k$ , відповідну цій температурі  $t_k$ .
3. Зміряти напругу  $E$  від термопары на приладу ( $E$ , мВ).
4. Визначити величину термо-ЕРС  $E_0$  термопары по формулі

$$E_0 = E((1+\gamma/R))$$

Де:  $\gamma$  – опір термопары;

$R$  – опір вимірювального приладу;

$E$  – напруга на клеммах вимірювального приладу.

5. Скласти всі термо – ЕРС:

$$E_c = E_0 + E_k$$

6. По градуванню термопары і значенню сумарної ЕРС  $E_c$  визначити температуру об'єкту ( $t$ , °C)

7. При подальших вимірах температури повторювати всі операції, починаючи з п. 3.

*Примітка.* Якщо  $R/\gamma > 100$ , то розрахунки за п. 4 можна опустити і  $E_0 =$

$E$ .

Ця умова звичайно виконується для потенціометрів і цифрових вимірювальних приладів.



## ЛІТЕРАТУРА

1. Захаренко В.О. Матеріалознавство та основи технології виробництва товарів: навч. посіб. / В.О. Захаренко. – Харків: ХДУХТ, 2016 – 195 с.
2. Захаренко В. О. Матеріалознавство та технологія виробництва непродовольчих товарів : опорний конспект лекцій / В. О. Захаренко, О. О. Гринченко. – Х. : ХДУХТ, 2015. – 144 с.
3. 2. Захаренко В. О. Матеріалознавство та технологія виробництва непродовольчих товарів : методичні вказівки до використання самостійної роботи студентів з дисципліни. – Х. : ХДУХТ, 2008. – 35с.
4. В. О. Захаренко. Матеріалознавство та технологія виробництва непродовольчих товарів : методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни / В. О. Захаренко, Т. Л. Колесник. – Х. : ХДУХТ. – 2015. – 36с.
5. Шабурова Н. А. Материаловедение : часть I. II: учебное пособие / Н.А. Шабурова. – Челябинск. : ИЦ ЮУрГУ, 2011. – 182 с.
6. Алексеев Н.С., Ганцов Ш.К., Кутянин Г.И. Теоретические основы товароведения. – М.: Экономика, 1989.
7. Алексеев Н.С., Ганцов Ш. К., Кутянин Г. И. Введение в товароведение непродовольственных товаров. – М.: Экономика, 1991.
8. Голубятникова А.Г., Горайнова Т.С. и др. Исследование непродовольственных товаров. – М.: Экономика 1992.
9. Материаловедение. / Под общ. ред. Арзамасова Н.Г. – М.: Машиностроение, 1986.
10. Металловедение и технология металлов. /Под науч. ред. Солнцева Ю.П. – М.: Металлургия, 1988.
11. Афтандіянц Є.Г. Матеріалознавство: Підручник / Є.Г. Афтандіянц, О.В. Зазимко, К.Г. Лопатько. – Херсон: Олді-плюс, Київ: Видавництво Ліра-К, 2013. – 612 с.
12. Боброва Т.Б. Основи матеріалознавства. Навчальний посібник. / Боброва Т.Б. Кузніченко В.М., Пеховка М.В., Сашко В.О., Терещенко Т.М. – Київ: Ресурсний центр ГУРТ, 2016. – 101 с.
13. Шиліна О.П. Матеріалознавство: лабораторний практикум / О.П. Шиліна, О.В. Шаповалова – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 76 с.
14. Курська Т.М. Матеріалознавство та технологія металів. / Укладачі Т.М. Курська, Г.О. Чернобай, С.Б. Єрьоменко. – Х. : УЦЗУ, 2008. – 136 с.
15. Оснач О. Ф. Товарознавство. Промислове обладнання, прилади, інструменти : навчальний посібник / О. Ф. Оснач. – К.: Центр навчальної літератури, 2007. – 304 с.

## Зміст

Передмова.....	3
Лабораторна робота № 1 .....	4
Лабораторна робота №2 .....	8
Лабораторна робота №3 .....	12
Лабораторна робота №4 .....	15
Лабораторна робота №5 .....	19
Лабораторна робота №6.....	22
Лабораторна робота №7 .....	25
Лабораторна робота №8 .....	29
Лабораторна робота №9 .....	33
Лабораторна робота №10 .....	36
Лабораторна робота №11 .....	42
Таблиця градування термопар хромель-копель при температурі вільних кінців 0°C.....	46
Таблиця градування термопар хромель-копель при температурі вільних кінців 0°C.....	47
Порядок визначення температури по величині термо-ЕРС термопари .....	48
Література.....	49

Навчальне електронне видання  
комбінованого використання  
Можна використовувати в локальному та мережному режимах

Укладачі  
ЗАХАРЕНКО Віталій Олександрович  
ПОЛУПАН Валентин Вадимович

## МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ТА ОСНОВИ ВИРОБНИЦТВА НЕПРОДОВОЛЬЧИХ ТОВАРІВ

методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни  
для студентів рівня освіти «бакалавр»  
спеціальності 076 «Підприємництво, торгівля та біржова діяльність»

Відповідальний за випуск зав. кафедри товарознавства в митній справі,  
д.т.н., проф. М.П. Головка

В авторській редакції

План 2019 р., поз. 70

---

Підп. до друку 26.06.2019р. Один електронний оптичний диск (CD-ROM);  
супровідна документація. Об'єм даних 660 Кб. Тираж 20 прим.

---

Видавець і виготівник  
Харківський державний університет харчування та торгівлі  
вул. Клочківська, 333, Харків 61051  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
ДК № 4417 від 10.10.2012 р.