

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
“УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ”

2612

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ
З ДИСЦИПЛІНИ “ОСНОВИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ”
ДЛЯ СТУДЕНТІВ СПЕЦІАЛЬНОСТІ 6.050503

Затверджено на засіданні
кафедри матеріалознавства.
Протокол № 13 від 23.05.12.

Дніпропетровськ УДХТУ 2013

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни
“Основи наукових досліджень” для студентів спеціальності 6.050503 / Укл.:
О.П. Клименко, Є.В. Колесник. – Дніпропетровськ: ДВНЗ УДХТУ, 2013. – 40 с.

Укладачі: О.П. Клименко, канд. техн. наук
Є.В. Колесник, канд. техн. наук

Відповідальний за випуск О.Б. Гірін, д-р техн. наук

Навчальне видання

Методичні вказівки
до виконання лабораторних робіт
з дисципліни “Основи наукових досліджень”
для студентів спеціальності 6.050503

Укладачі: КЛИМЕНКО Олександр Павлович
КОЛЕСНИК Євген Валерійович

Авторська редакція

Підписано до друку 16.04.13. Формат 60×84 1/16. Папір ксерокс. Друк різнограф.
Умов.-друк. арк. 1,82. Облік.-вид. арк. 1,87. Тираж 80 прим. Замовлення №257.
Свідоцтво ДК №303 від 27.12.2000.

ДВНЗ УДХТУ, 49005, м. Дніпропетровськ-5, просп. Гагаріна, 8.

Видавничо-поліграфічний комплекс ІнКомЦентру

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

БУДОВА І ПРИНЦИП ДІЇ ДАТЧИКІВ

Мета роботи: Ознайомитися з конструкцією датчиків перетворення вимірюваних величин. Набути навичок побудови градуювальних кривих тензорезистивних датчиків.

Матеріальне забезпечення: термопарні, резистивні, тензорезистивні, індуктивні, ємнісні датчики, датчик Хола, п'єзоелектричний перетворювач, елемент Пельтьє, набір плоско-паралельних кінцевих мір довжини 1-Н1, вимірювач малих переміщень 214-П-15, АЦП ADAM 4019/4020, набір важків, тензодатчик CZL-A6, тензопідсилювач Мах-4238, мультиметр UT-71D, комп'ютер, програма Excel.

1.1. Теоретичні відомості

1.1.1. Термоелектричні датчики.

Термопара – датчик виміру температури, два спаяні провідники з різнорідних металів або сплавів (рис. 1.1).

Ефект Зеебека – на спаї двох різнорідних матеріалів, через різницю температур виникає струм. Гарячий спай поміщують в матеріал, температуру якого визначають, а холодні кінці підключають до вимірювального приладу. Показання приладу відображують різницю температур між спаєм і холодними кінцями термопари.

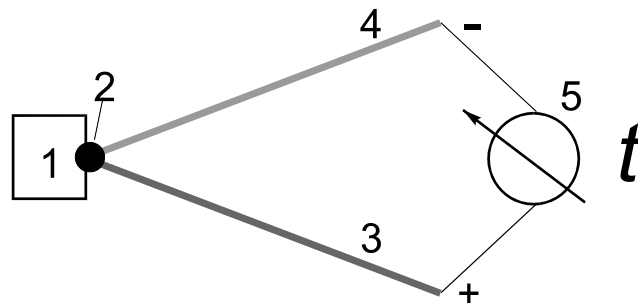


Рис. 1.1 Термопара: 1 – зразок; 2 – спай; 3 – позитивний електрод; 4 – негативний електрод; 5 – вимірювальний прилад

Залежно від температури нагрівання застосовують такі термопари:

а) $t=0-1000^{\circ}\text{C}$ – хромель-алюмель (ХА), міжнародне маркування – К

“+” хромель (Х) (НХ95 – 95% Ni; 5% Cr);

“–” алюмель (А) (НМцАК 2-2-2 – 95,3% Ni; 2,5% Mn; 2% Al; 1,2% Si);

б) $t=0-1300^{\circ}\text{C}$ – платинородій-платина (ПП), міжнародне маркування – R,

S

“+” платинородій (90% Pt; 10% Rh);

“–” платина (100% Pt);

в) $t=0-2300^{\circ}\text{C}$ – вольфрам-реній (ВР 5/20), міжнародне маркування – А

“+” вольфрам-реній (95% W; 5% Re);

“–” вольфрам-рений (80% W, 20% Re).

Залежності напруги від різниці температур спаю і холодних кінців для термопар з різних матеріалів можуть мати, як лінійний, так і нелінійний характер (рис. 1.2).

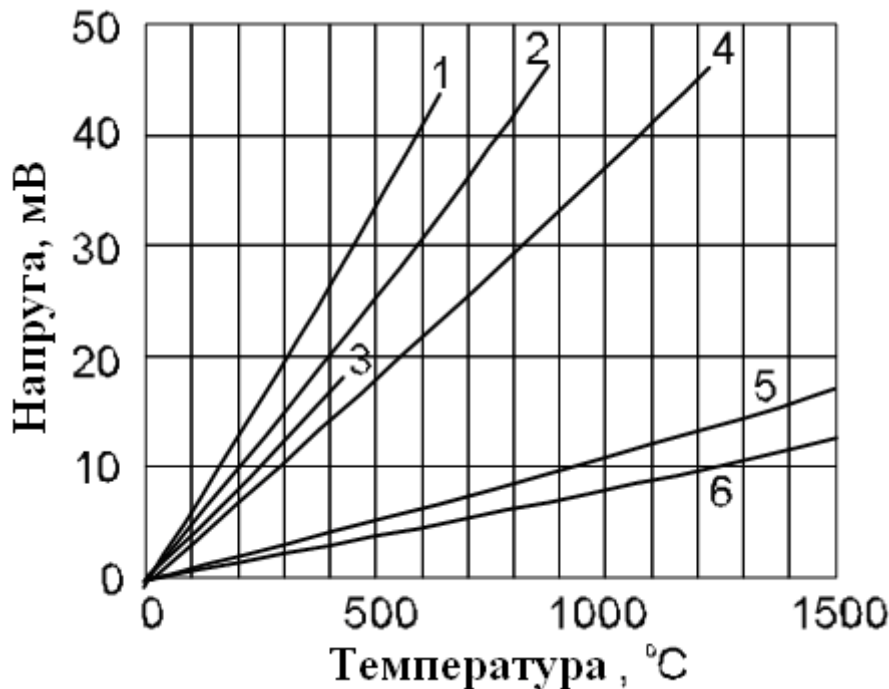


Рис. 1.2. Залежності напруги від різниці температур для термопар:

1 – нікель-хром/константан (тип E);

2 – залізо/константан (тип J);

3 – мідь/константан (тип T);

4 – нікель-хром/нікель-марганець-алюміній-кремній (тип K);

5 – платиновий/платина (тип R); 6 – платиновий/платина (тип S)

В лабораторній роботі застосовують термопару хромель-алюмель (ХА) (тип К), підключену до мультиметра UT-71D.

Більшість ефектів, спостережуваних в природі зворотні. *Ефект Пельтьє*, зворотній до *ефекту Зеебека*.

У основі роботи елементів Пельтьє лежить контакт двох струмопровідних матеріалів з різним рівнем енергії електронів в зоні провідності. При протіканні струму через контакт електрон повинен придбати енергію для переходу в зону провідності з більш високою енергією. Поглинання енергії викликає охолодження місця контакту провідників. Протікання струму у зворотному напрямі викликає нагрів контакту, додатково до звичайної теплової дії струму.

Елемент Пельтьє складається з однієї або більше пар напівпровідникових пластин n- типу і р-типу: телуриду вісмуту Bi_2Te_3 і германіду свинцю. Пари сполучають послідовно з однаковим розташуванням р→n переходів. Залежно від напрямку струму верхні контакти охолоджуються, а нижні нагріваються або – навпаки. Якщо охолоджувати сторону елементу Пельтьє, що нагрівається, радіатором або вентилятором, то залежно від типу елементу і величини струму, різниця температур поверхонь елементу сягає 70К.

Елементи Пельтьє застосовують для охолодження пристроїв в цифрових фотокамерах, приймачах випромінювання в інфрачервоних сенсорах, охолодження і термостатування діодних лазерів, для стабілізації довжини хвилі випромінювання.

У лабораторній роботі використовують елемент Пельтьє з розміром пластин 30х30мм.

1.1.2. Резистивні датчики.

Резистивні перетворювачі перетворюють зміну значень вимірюваної величини в зміну опору.

Зміна опору може бути викликана нагрівом, охолодженням, механічними напруженнями, зміною освітленості, вологості, механічним переміщенням контакту реостата.

Потенціометр перетворює зміну положення контакту змінного резистора в зміну напруги (рис. 1.3).

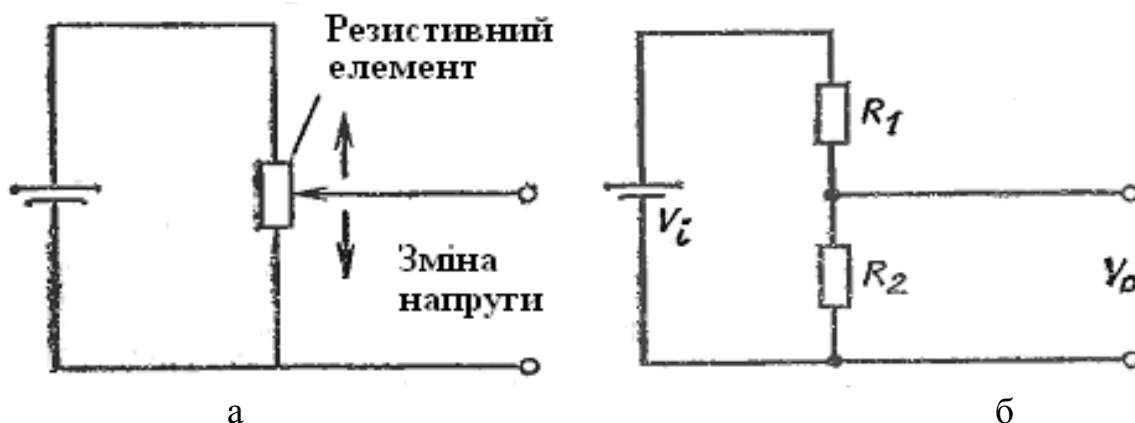


Рис. 1.3 Потенціометр (а) і його еквівалентна схема (б)

Потенціометр можна представити у вигляді еквівалентної електричної схеми, ділянки напруги (рис. 1.3, б). Його вихідна напруга:

$$V_0 = \frac{V_1}{R_1 + R_2}, \quad (1.1)$$

де V_1 – напруга на вході.

Якщо напруга на вході приладу постійна, вихідна напруга визначається положенням щітки потенціометра і є функцією вимірюваної величини. Лінійні перетворювачі працюють в діапазоні переміщень від декількох міліметрів до декількох метрів.

Кутові перетворювачі використовують для виміру кутових переміщень від 0 до 7200°, тобто до 20 оборотів диска.

Якщо реохорд виконаний з дроту, роздільна здатність залежить від кількості витків дроту на одиницю довжини елемента.

Потенціометри з недротовими опорами можуть бути:

- з металокерамічною підкладкою;
- з вуглецевою підкладкою;
- з пластиковою провідною плівкою.

У цих типах перетворювачів, теоретично можливе безмежна роздільна здатність датчика.

У лабораторній роботі реохордовий потенціометричний датчик подовження зразка виконаний за мостовою схемою з живленням постійним струмом від блоку "Б5-47" підключений до мультиметра UT-71D.

Реохордовий датчик кутових переміщень від 0 до 1800° (до 5 оборотів диска) підключений до мультиметра UT-71D.

1.1.3. Тензорезистори.

Тензоефект – зміна електричного опору провідників і напівпровідників при їх пружній механічній деформації, лежить в основі роботи тензорезисторів. Опір резистора R :

$$R = \rho L / S, \quad (1.2)$$

де ρ – питомий опір матеріалу; L – довжина; S – площа поперечного перетину.

При наданні механічного навантаження змінюється довжина і площа поперечного перетину провідника. Відносна зміна R при деформації резистора ε_R дорівнює:

$$\varepsilon_R = \Delta R / R, \quad (1.3)$$

де ΔR – приріст величини.

При пружній деформації твердого тіла подовжня компонента деформації дорівнює

$$\varepsilon_l = \Delta l / l, \quad (1.4)$$

де l – поздовжній розмір тіла.

При лінійному напруженому стані в зоні пружних деформацій чутливість резистора характеризується коефіцієнтом тензочутливості $K_T = \varepsilon_R / \varepsilon_l$. Для металів і сплавів $K_T = 0,9-3,6$.

При виготовленні *дротового тензорезистора* (рис. 1.4) на смужку тонкого паперу або лакову плівку наклеюють зигзагоподібно укладений дріт діаметром 0,02-0,05 мм.

До кінців дроту припаюють мідні виведення. Зверху дріт покривають шаром лаку. Довжина поверхні об'єкту вимірювання, займана дротом називається вимірювальною базою перетворювача. Використовують перетворювачі з базою 0,6-120 мм і опором 30-1000 Ом. У плівкових

тензорезисторів товщина фольги є меншою за 0,001мм. Тензорезистори наклеюють на деталь, у якій вимірюють деформацію під навантаженням.

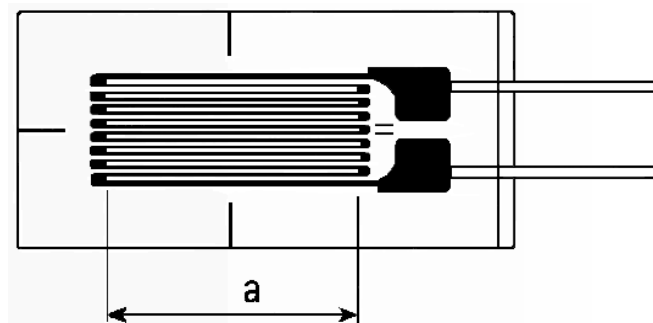


Рис. 1.4 Схема тензорезистора: *a* – база тензорезистора

Напівпровідникові тензорезистори – тонкі смужки кремнію або германію, вирізані по певних напрямках в кристалах. На їх кінцях розташовані контактні майданчики, до яких припаюють виведення. Напівпровідникові тензорезистори мають довжину 2-12 мм, ширину 0,15-0,5 мм, початковий опір 50-10000 Ом, коефіцієнт тензочутливості $K_T=50-200$. Для вимірювальних перетворювачів використовують дріт з платини. Тензорезистори сполучають у вимірний міст Уїтстона.

В лабораторній роботі використовують тензодатчик CZL-A6 з максимальним навантаженням 3 кгс, з мостовим включенням тензорезисторів і термокомпенсацією, з тензопідсилювачем Мах-4238, підключеним до мультиметра UT-71D.

1.1.4. Індуктивні датчики.

Індуктивні датчики перетворюють значення вимірюваних кутових або лінійних переміщень в значення індуктивності. У диференціального трансформатора з вихідним сигналом, що лінійно змінюється, три котушки намотані уздовж однієї осі, центральна котушка є первинною. Первинна обмотка збуджується змінним струмом. Переміщення сердечника у середині котушок змінює зв'язок між первинною і вторинними обмотками. В результаті на виході вторинних обмоток змінюється амплітуда і фаза сигналу (рис. 1.5).

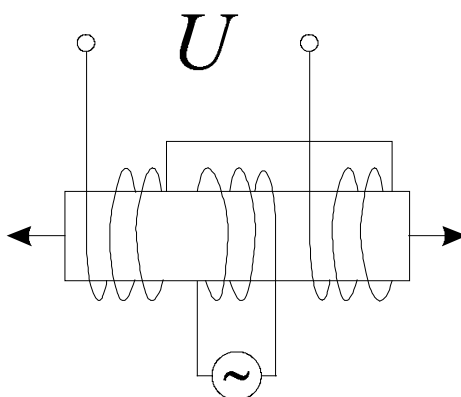


Рис. 1.5 Перетворення магнітного опору в диференціальному трансформаторі з виходом, що лінійно змінюється

В лабораторній роботі використовується вимірник малих переміщень 214-П-15 з індуктивним трансформаторним датчиком.

1.1.5. Ємнісні датчики.

Ємнісні датчики перетворюють зміни вимірюваної величини на зміни ємності конденсатора. Конденсатор складається з двох пластин, розділених шаром діелектрика (рис. 1.7). Його ємність визначається за формулою:

$$C = \varepsilon \frac{A}{x}, \quad (1.5)$$

де ε – діелектрична проникність діелектрика; A – площа поверхні кожної пластини; x – відстань між пластинами.

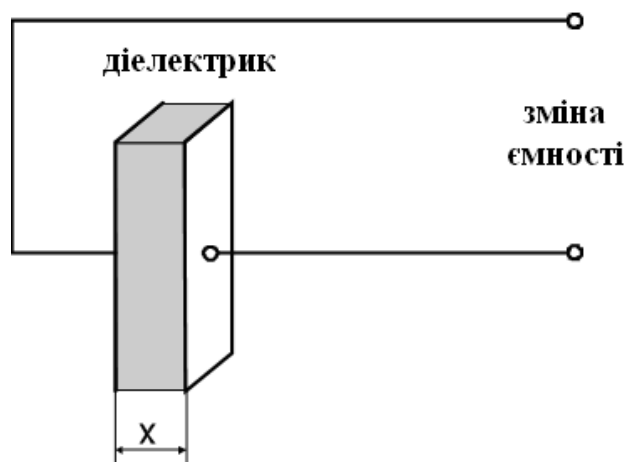


Рис. 1.7 Схема ємнісного датчика

Зміну ємності досягають:

- зміною площі електродів;
- зміною відстані між електродами;
- зміною діелектричної проникності матеріалу діелектрика між електродами.

Діелектрична проникність – відношення ємності конденсатора з досліджуваним діелектриком та ємності конденсатора з вакуумом в проміжку між пластинами:

$$\varepsilon = C_\alpha / C_0, \quad (1.6)$$

де C_α – ємність конденсатора з діелектриком; C_0 – ємність вакуумного конденсатора.

Діелектрична проникність – це діелектричні втрати, частина енергії поля, яка необоротно розсіюється в діелектрику у формі теплоти. Втрати пов'язані з поляризацією, виникненням електричного моменту в одиниці об'єму діелектрика при внесенні його в електричне поле.

В лабораторній роботі дія приладу базується на збільшенні ємності датчика при контакті з його поверхнею досліджуваного діелектрика. В

результаті збільшується коефіцієнт передачі височастотного сигналу у вимірювальному ланцюгу і зростає амплітуда сигналу на виході приладу.

1.1.6. П'єзоелектричні перетворювачі.

Сегнетоелектричні матеріали мають області довільної орієнтації молекул з утворенням мікрополярих ділянок доменів за відсутності зовнішнього поля.

Сегнетокераміка набуває п'єзоелектричних властивостей внаслідок поляризації в електричному полі. При певній напруженості електричного поля домени орієнтуються за напрямом силових ліній електричного поля. При знятті зовнішнього електричного поля домени залишаються поляризованими, що відповідає позитивній залишковій поляризації.

П'єзоелектричні властивості – зміна поляризації матеріалу, заздалегідь поляризованого в електричному полі, під впливом механічних навантажень з утворенням на його поверхні електричних зарядів, які знімаються у вимірювальний ланцюг (рис. 1.8). На основі п'єзокристалів виготовляють акселерометри, які вимірюють величину і знак прискорень.

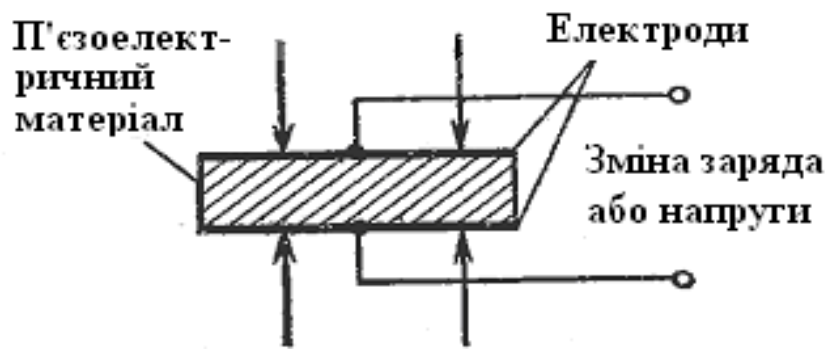


Рис. 1.8 П'єзоелектричний перетворювач

В *акселерометрі* маса вантажу діє на п'єзоелектричний кристал таким чином, що прискорення, яке прикладається, викликає його розтягування або стискання і змінює електричний заряд на поверхні кристала. В якості матеріалу п'єзоелектричного перетворювача використовують:

- природні кристали (кварц або рочеллеву сіль);
- синтетичні кристали (сульфат літію);
- поляризовану феромагнітну кераміку (титанат барію).

Зворотним проявом ефекту є генерація коливань п'єзокристалом при підключенні до електродів на його поверхні змінної напруги. При дії на п'єзокераміку електричного поля в ній виникає механічна напруга, яка призводить до зміни розмірів виробу. На цьому принципі засновані ультразвукові випромінювачі, мікрофони.

У лабораторній роботі п'єзоелектричний акселерометр підключений до мультиметра UT-71D.

1.1.7. Датчики Холу.

Ефект Холу – виникнення поперечної різниці потенціалів при проходженні електричного струму в перпендикулярному до нього магнітному полі.

Ефект виникає в провідниках, але найбільш значним є в напівпровідниках. Якщо до напівпровідникової пластини (рис. 1.9) прикладене магнітне поле з індукцією B , перпендикулярне струму I , що протікає через пластину, то це поле викликає утворення електричного поля з напруженістю E .

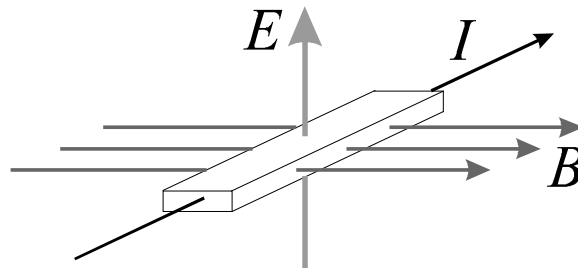


Рис. 1.9 Ефект Холу

Співвідношення між магнітною індукцією, струмом і напруженістю визначаються таким чином:

$$E = -R_H(I \cdot B) , \quad (1.7)$$

$$R_H = 1 / n \cdot e , \quad (1.8)$$

де R_H – коефіцієнт Холу; n – кількість зарядів, що протікають через одиницю об'єму і утворюють електричний струм в провіднику або напівпровіднику; e – заряд носія зарядів.

Ефект Холу використовують в перетворювачах, призначених для виміру напруженості магнітного поля, а також у безконтактних перемикаючих приладах.

В лабораторній роботі використовують датчик напруженості і знаку магнітного поля, підключений до мультиметра UT - 71D.

Градуювання – визначення градуювальної характеристики засобів вимірювальної техніки.

1.2. Порядок виконання роботи

Градуювання тензодатчика.

1.2.1. Підключити тензодатчик CZL-A6 до тензопідсилювача.

1.2.2. Включити живлення тензопідсилювача Max-4238.

1.2.3. Записати у файл початкові показання приладу.

1.2.4. Встановити важок масою 100 мг на площину тензодатчика, записати показання приладу.

1.2.5. Послідовно встановлюючи вантажі масою 500 мг, 1 г, 5 г, 10 г, 100 г, 500 г, 1 кг, записати показання приладу.

1.2.6. У програмі Excel за отриманими даними побудувати градуювальний графік тензодатчика CZL-A6, отримати рівняння $V=f(P)$.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

ЗАСТОСУВАННЯ ІНДУКТИВНИХ ДАТЧИКІВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ТЕПЛООВОГО РОЗШИРЕННЯ МАТЕРІАЛІВ

Мета роботи: визначити середні коефіцієнти теплового розширення матеріалів.

Матеріальне забезпечення: зразки сталі 12Х18Н10Т, алюмінію, кварцу, алундової кераміки Al_2O_3 , піч, термopари, вимірювач малих переміщень 214-П-15, АЦП ADAM 4019/4020, комп'ютер, програма Excel.

2.1. Теоретичні відомості

Дилатометр застосовують для вимірювання термічного розширення твердого тіла (рис. 2.1). Зразок 2 поміщають між кварцовими опорою 5 і штовхачем 3. Зразок нагрівають в печі 1. Температуру вимірюють термopарою 6.

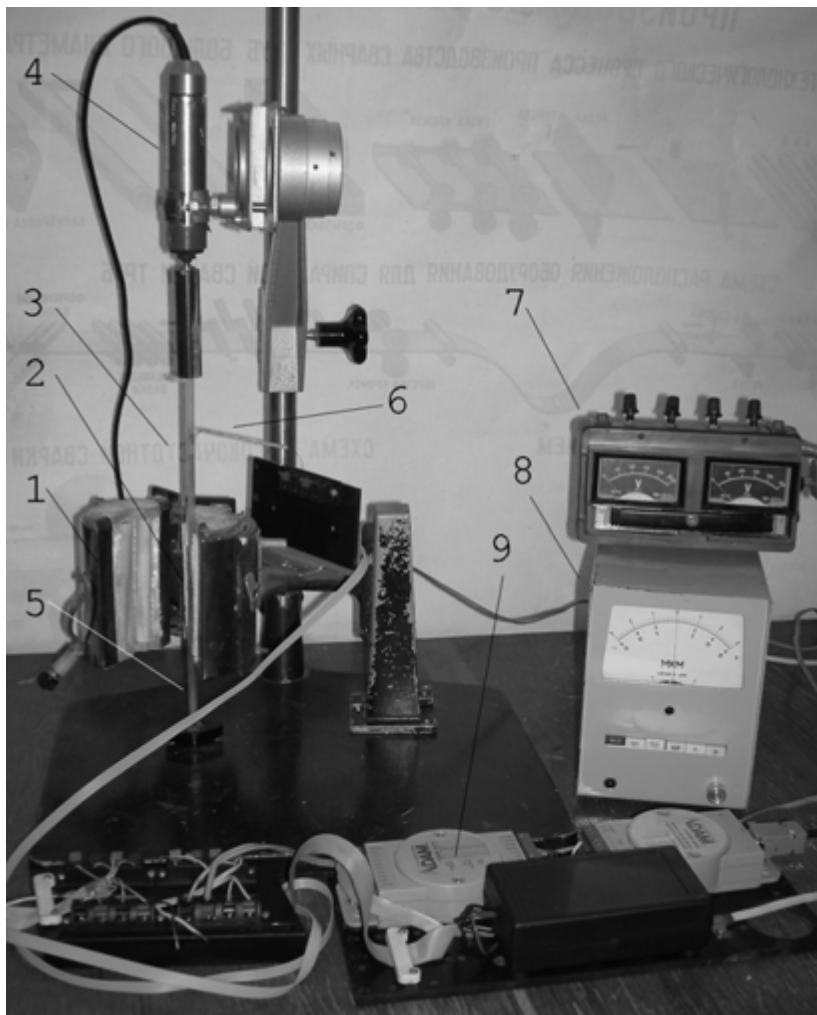


Рис. 2.1 Лабораторна установка:

1 – піч; 2 – зразок; 3 – кварцовий штовхач; 4 – індуктивний датчик малих переміщень; 5 – кварцова опора зразка; 6 – термopара; 7 – блок управління нагріванням; 8 – прилад 214-П-15; 9 – АЦП

При нагріванні або охолодженні змінюється довжина зразка. Зміщується кварцовий штовхач 3. Переміщення штовхача реєструє 214-П-15 – прилад з індуктивним датчиком 4. Сигнали від приладу і термопари через АЦП 9 поступають на комп'ютер.

За результатами вимірювання зміни довжини зразка при зміні температури розраховують коефіцієнти теплового розширення і визначають критичні точки матеріалів.

При нагріванні збільшується довжина зразка, кварцових опор і штовхача. Загальне подовження Δl , виміряне індуктивним датчиком, дорівнює сумарному подовженню зразка $\Delta l_{зр}$ та ділянок кварцових трубок Δl_k , які знаходяться в печі:

$$\Delta l = \Delta l_{зр} + \Delta l_k \quad (2.1)$$

Коефіцієнти лінійного розширення кварцу в інтервалі температур 0-1000°C $0,55-0,56 \cdot 10^{-6}$ м/°C. Тому подовженням кварцових опор і штовхача Δl_k в розрахунках нехтують.

По абсолютному подовженню зразка $\Delta l_{зр}$ і його початковій довжині $l_{зр}$ розраховують середній коефіцієнт лінійного розширення для заданого інтервалу температур від T_1 до T_2 :

$$\alpha_{зр} = \frac{\Delta l_{зр}}{l_{зр} (T_2 - T_1)} \quad (2.2)$$

Дилатометричний метод застосовують для визначення критичних точок сталі. При $\alpha \rightarrow \gamma$ перетворенні заліза питомий об'єм зменшується на 0,8%. Евтектоїдне перетворення перліту на аустеніт (A_{c1}) супроводжується зменшенням питомого об'єму на 0,4%.

Дилатометричний ефект перетворення при охолодженні з аустенітного стану залежить від швидкості охолодження. За питомим обсягом структури розташовуються в порядку збільшення об'єму наступним чином: аустеніт, тростит, сорбіт, перліт, мартенсит.

В лабораторній роботі на зразках діаметром 4 мм і завдовжки 60 мм визначають середні температурні коефіцієнти розширення сталей Ст1кп, 12Х18Н10Т, алюмінію, кварцу, алундової кераміки в інтервалі температур 50-250°C.

2.1. Порядок виконання роботи

Градуювання датчика малих переміщень.

2.2.1. Кінцеву міру завтовшки 1 мм встановити між плитою і наконечником індуктивного датчика.

2.2.2. На приладі 214-П-15 встановити межу виміру "0,2". Увімкнути прилад. Переміщенням датчика грубо, потім руків'ям приладу точно встановити стрілку приладу на "0".

2.2.3. Включити АЦП ADAM, запустити програму ADAM Net Utility. Встановити число каналів і межі виміру. Встановити частоту вимірів 30 с.

2.2.4. Встановити кінцеву міру завтовшки 1,1 мм між плитою і наконечником індуктивного датчика.

2.2.5. Після запису показань, що відповідають товщині міри 1,1 мм у файл, встановити міру 1,2 мм.

2.2.6. З кроком 0,1 мм провести реєстрацію показань приладу до розміру міри 2 мм у файл.

2.2.7. У програмі Excel за отриманими даними побудувати градувальний графік індуктивного датчика малих переміщень, отримати рівняння $V=f(L)$, (рис. 2.2).

2.2.8. Зразок матеріалу встановити між кварцовою опорою і кварцовим штовхачем дилатометра.

2.2.9. На приладі 214-П-15 встановити межу виміру "0,2", увімкнути прилад. Переміщенням датчика грубо, потім рукояткою приладу точно встановити стрілку приладу на "0".

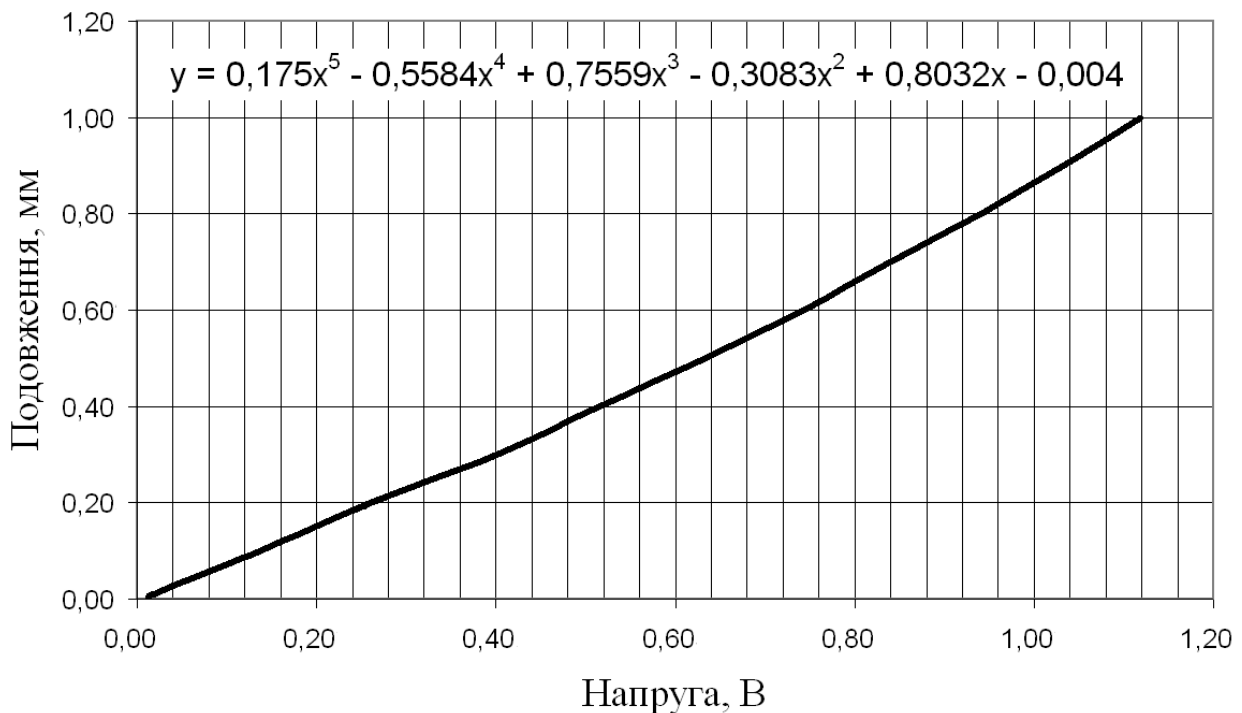


Рис. 2.2 Градувальна характеристика приладу 214-П-15

2.2.10. Увімкнути АЦП ADAM, запустити програму ADAM Net Utility. Встановити число каналів і межі вимірювання. Встановити частоту вимірювання 1 с.

2.2.11. Реєструвати криві нагрівання до температури 250°C і криві зміни довжини зразка в процесі нагрівання.

2.2.12. У програмі Excel за отриманими даними побудувати графік залежності лінійного розширення зразків від температури (рис. 2.3).

2.2.13. Розрахувати середні коефіцієнти теплового розширення зразків за формулою (2.2).

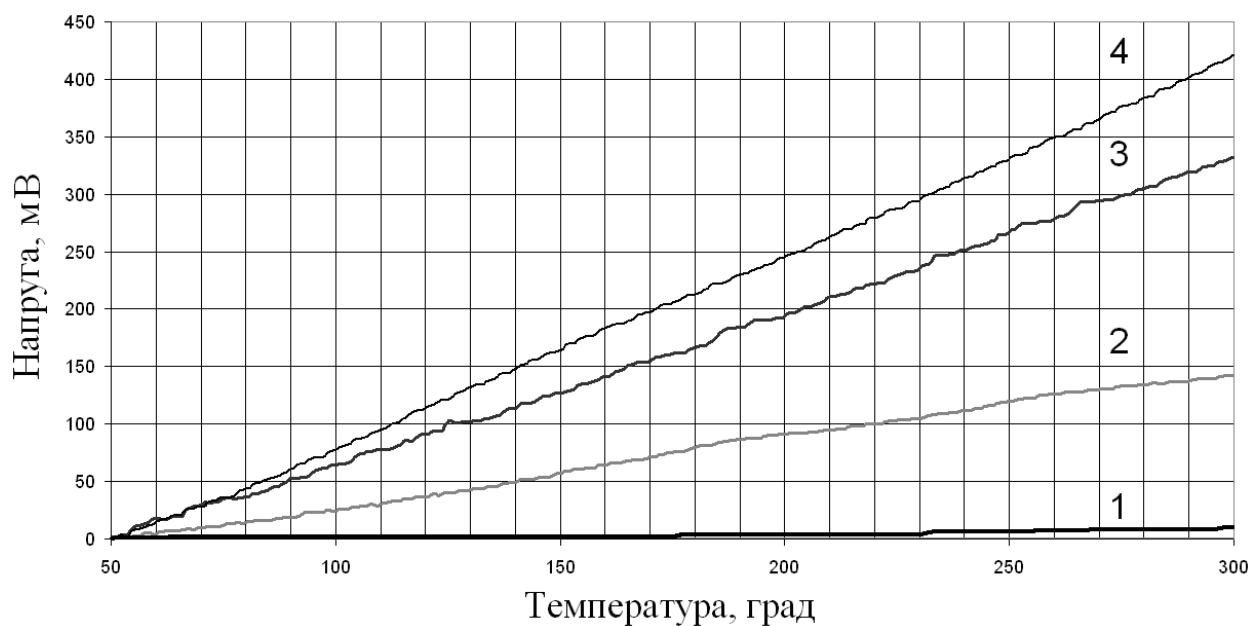


Рис. 2.3 Залежності лінійного розширення зразків від температури:
 1 – кварц; 2 – кераміка Al_2O_3 ; 3 – сталь 12X18H10T; 4 – Al

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕРМОПАРНИХ ДАТЧИКІВ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ РОЗПЛАВІВ

Мета роботи: експериментально визначити температурні інтервали перебудови структури розплаву парафіну із стеарином.

Матеріальне забезпечення: сплав парафіну із стеарином, піч, термопари, АЦП ADAM 4019/4020, комп'ютер, програма Excel.

3.1. Теоретичні відомості

Роль рідкого стану в процесах формування структури металевих матеріалів проявляється в наслідуванні властивостей шихтових матеріалів розплавом і відливками. Для підвищення якості металу проводять модифікування розплавів і обробку рідкого металу електричним струмом та ультразвуком.

Дифракційними методами виявили близькість фізичних властивостей рідких і твердих матеріалів, що дозволило створити моделі впорядкованого рідкого стану.

Кластер – зона впорядкованого розташування атомів в розплавах. Кластери містять від сотень до тисяч атомів. Найбільша міра впорядкованості атомів – в центрі кластера. З віддаленням від центру міра впорядкованості знижується і кластер переходить у неупорядковану зону. З часом, через тепловий рух атомів, одні кластери зникають, а замість них з'являються нові.

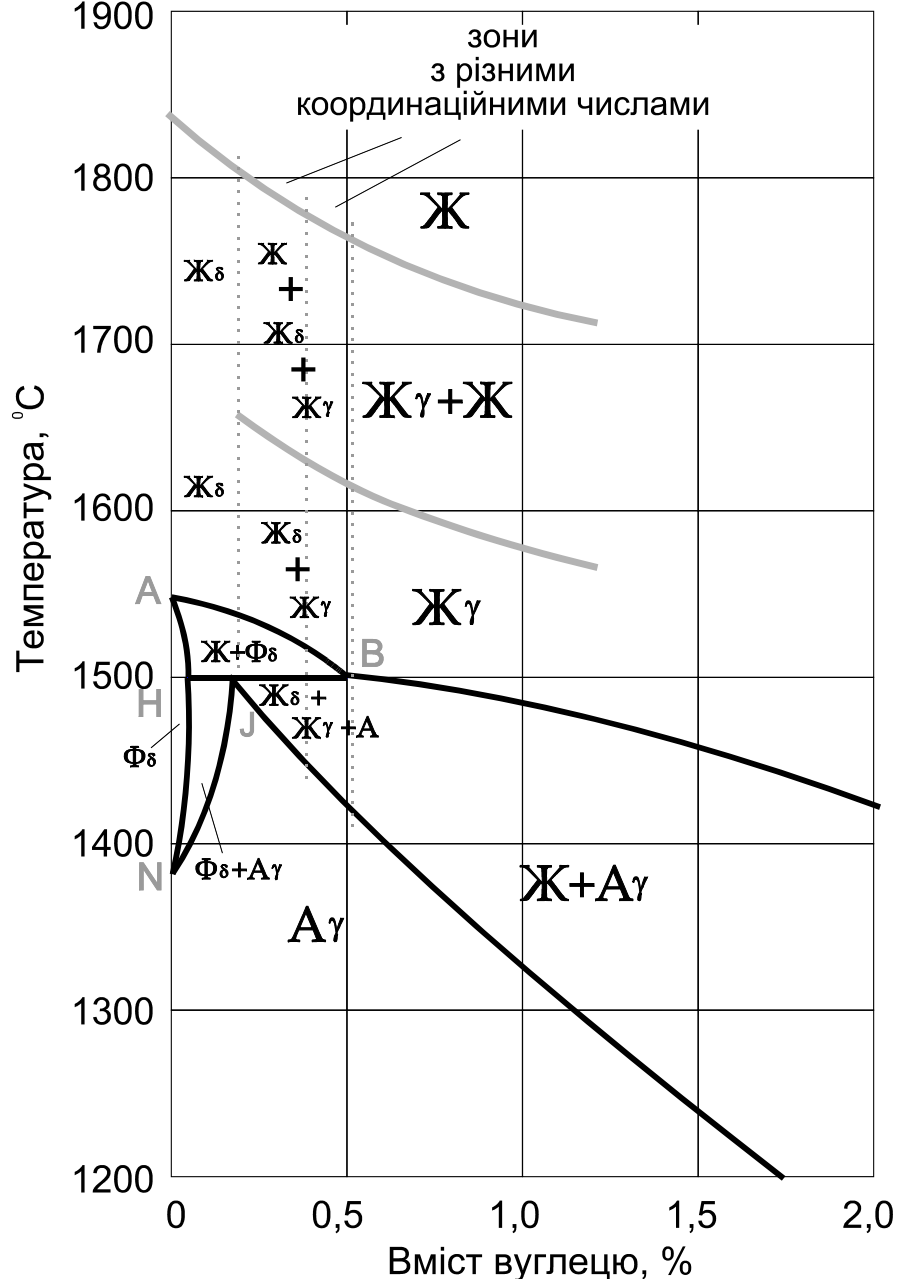


Рис. 3.1 Схема зміни структури рідкої сталі

Повне зникнення кластерів в розплаві і утворення *статистичної рідини* відбувається при високих для цього металу або сплаву температурах.

Не лише в рідких металах відбуваються поліморфні перетворення. Вони спостерігаються в розплавленій парафіно-стеариновій суміші, у водних розчинах солей, в машинній олії і інших рідинах.

Розроблені режими термо-часової обробки рідких сплавів. Метал нагрівають до температур мікро-однорідної будови розплаву. Після цього метал за допомогою холодильників швидко охолоджують до температури

кристалізації і розливають у виливниці або у форми. В результаті термо-часової обробки розплаву подрібнюється зерно литого металу, зменшується ступінь дендритної ліквідації, покращується якість сталі та металопродукції.

Зміні структури розчину або розплаву відповідають зміни густини, в'язкості, теплопровідності, електропровідності, поверхневого натягнення.

Лабораторну роботу виконують на зразках сплаву парафіну з концентрацією стеарину 50% з температурою плавлення 50°C. Розплав нагрівають в металевій ємності до 150°C – температури одержання статистично неупорядкованої структури розплаву. Температуру розплаву в процесі нагрівання і охолодження вимірюють термопарою.

Термопара – датчик виміру температури, два спаяні провідники з різнорідних металів або сплавів (рис. 3.2).

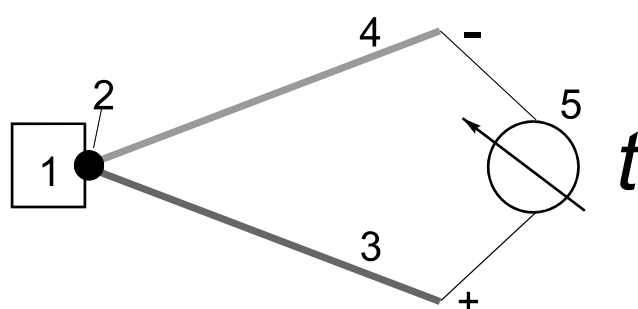


Рис. 3.2 Термопара: 1 – зразок; 2 – спай; 3 – позитивний електрод; 4 – негативний електрод; 5 – вимірювальний прилад

Гарячий спай, місце з'єднання електродів, поміщають в матеріал, температуру якого визначають, холодні кінці підключають до вимірювального приладу. Показання приладу відображають різницю температур між спаєм і холодними кінцями термопари.

У лабораторній роботі використовують термопари хромель-алюмель ХА (тип К за міжнародною класифікацією). Робочий діапазон температур при тривалій роботі 0-1000°C:

“+” хромель (Х) (НХ95 – 95% Ni; 5% Cr);

“–” алюмель (А) (НМцАК 2-2-2 – 95,3% Ni; 2,5% Mn; 2% Al; 1,2% Si).

Стадіям перебудови структури розплаву, переходу від статистично неупорядкованої до кластерної структури розплаву відповідають зміни ходу температурної кривої охолодження розплаву (рис. 3.3, а).

В процесі охолодження залежність температури від часу на ділянках графіку носить експоненціальний характер. Логарифм значень температури

$$\lg[(t_1 - t_d)/(t_i - t_d)] \quad , \quad (3.1)$$

де t_1 – температура розплаву на початку охолодження;

t_d – температура довкілля;

t_i – температура в процесі охолодження;

дозволяє перейти до простішої для обробки залежності, яка має на експоненціальних ділянках лінійний характер (рис. 3.3, б).

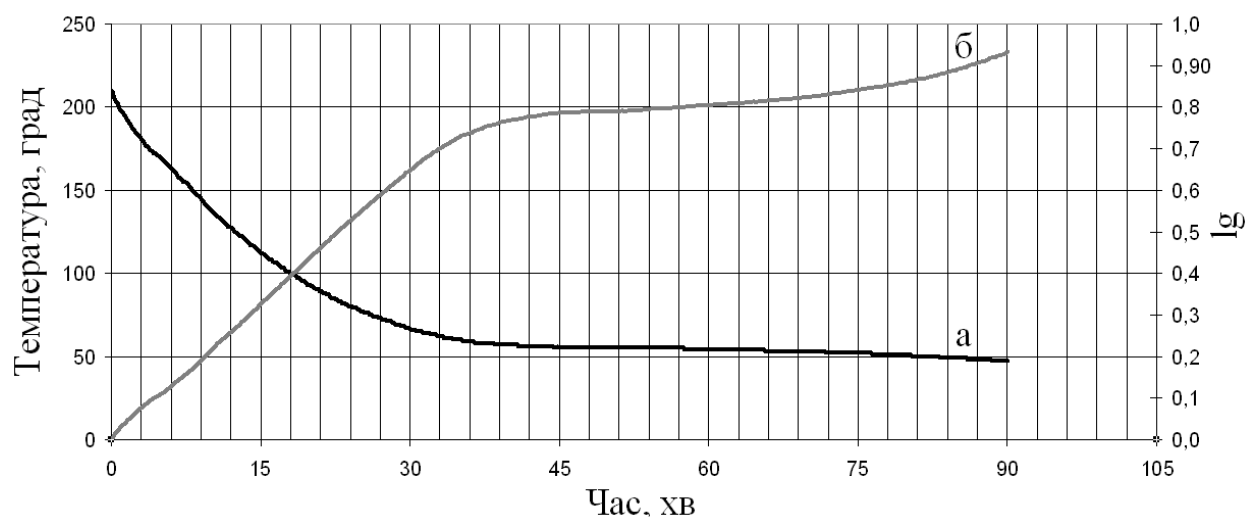


Рис. 3.3 Зміна температури (а) та значення $\lg[(t_1 - t_d)/(t_i - t_d)]$ (б) розплаву парафіну із стеарином (50%) в процесі охолодження

Аналіз логарифмічного графіку проводимо за числовими значеннями першої похідної отриманої функції (рис. 3.4).

Числове значення першої похідної характеризує швидкість зміни значення функції. При значеннях першої похідної більших за нуль значення функції зростають, менших за нуль – зменшуються. Аналіз графіку зміни першої похідної показує:

- провал на графіку числових значень першої похідної, який відповідає сходявці на графіку логарифма температури і утворенню кластерної структури розплаву;
- наближення графіку числового значення похідної до нуля відповідає переходу до плоскої ділянки графіку логарифма температури і температурного інтервалу твердіння сплаву.

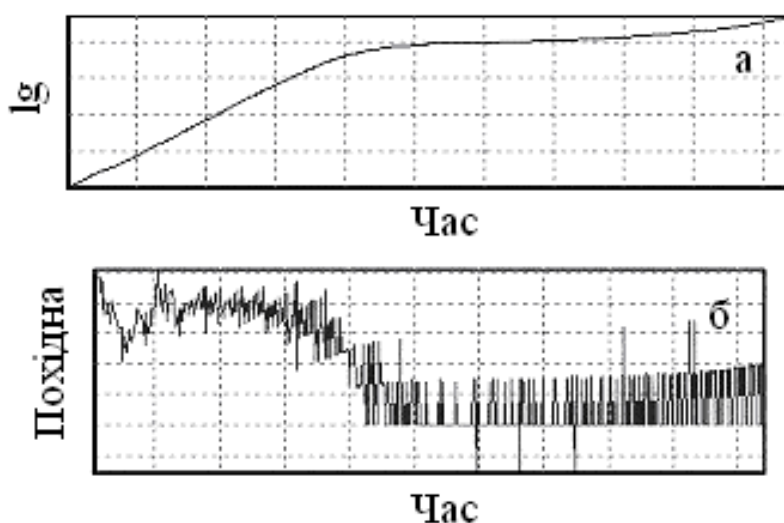


Рис. 3.4 Характер зміни першої похідної (б) для графіку логарифму температури $\lg[(t_1 - t_d)/(t_i - t_d)]$ (а)

Лабораторна установка (рис. 3.5) включає піч 1, блок управління 4 для нагріву ємності з сумішшю парафіну із стеарином 3. Температуру перегрівання розплаву і зміну температури розплаву в процесі охолодження вимірюють термопарою 2. Сигнал від термопари поступає через АЦП ADAM 4019/4020 на порт RS-232 комп'ютера.

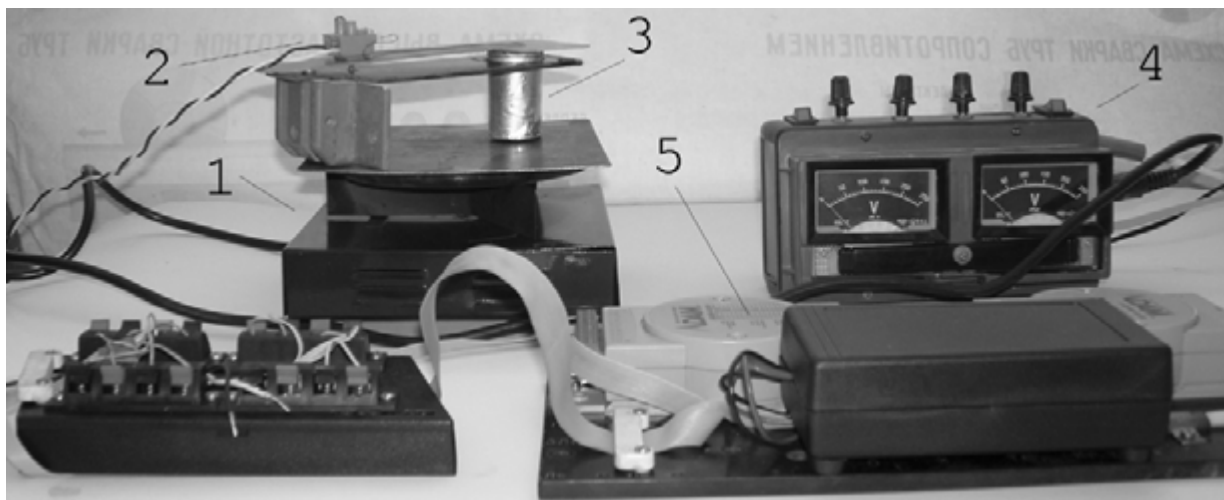


Рис. 3.5 Лабораторна установка:

1 – піч; 2 – термопара; 3 – ємність з розплавом; 4 – блок управління нагріванням; 5 – АЦП ADAM 4019/4020

3.2. Порядок виконання роботи

3.2.1. Металеву ємність заповнити сплавом парафіну з масовою концентрацією стеарину 50%, накрити кришкою з термопарою, яка вимірює температуру сплаву.

3.2.2. Включити АЦП, запустити програму ADAM Net Utility. Встановити число каналів і границі вимірювання. Встановити частоту вимірів – 1 хв. Включити реєстрацію температури сплаву.

3.3.3. Ємність встановити на піч і нагрівати після плавлення до температури 150°C.

3.3.4. Реєструвати процес охолодження розплаву до температури 40°C.

3.3.5. У програмі " Excel" за експериментальними даними побудувати залежність температури розплаву від часу охолодження.

3.3.6. Розрахувати значення $\lg[(t_1 - t_d)/(t_i - t_d)]$ і $(\tau_i - \tau_1)$,

де t_1 – температура розплаву на початку охолодження;

t_d – температура довкілля, $t_d = 17^\circ\text{C}$;

t_i – температура в процесі охолодження;

τ_1, τ_i – моменти часу від початку охолодження, які відповідають указаним температурам.

3.3.7. За допомогою програми Proizvodnaja за графіками знайти температури поліморфних перетворень розплаву.

3.3.8. Визначити інтервали часу існування структур розплаву (рис. 3.6).

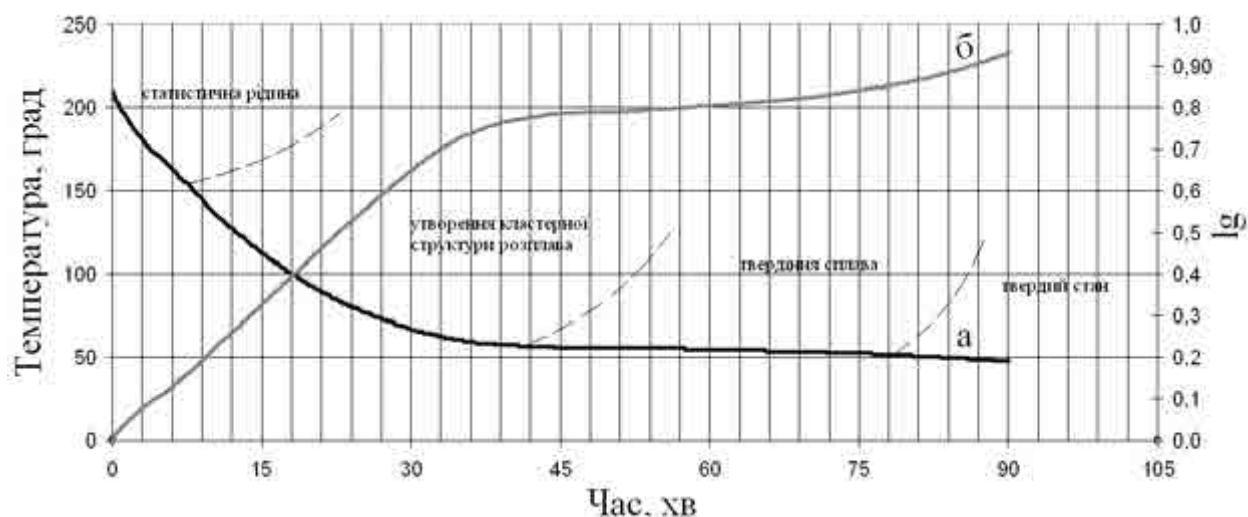


Рис. 3.6 Визначення температурно-часових інтервалів зміни стану розплаву: *а* – температура; *б* – значення $\lg[(t_l - t_d)/(t_i - t_d)]$

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

ЗАСТОСУВАННЯ ЄМНІСНИХ ДАТЧИКІВ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ТВЕРДІННЯ ГІПСУ

Мета роботи: експериментально визначити тривалість процесу твердіння будівельного гіпсу по зміні діелектричної проникності матеріалу.

Матеріальне забезпечення: прилад для визначення діелектричної проникності, алебастр, АЦП ADAM 4019 /4020, комп'ютер, програма Excel.

4.1. Теоретичні відомості

Ємнісні датчики – конденсатори, електрична ємність яких змінюється при зміні:

- площі електродів;
- відстані між електродами;
- діелектричної проникності матеріалу діелектрика між електродами.

Діелектрична проникність – відношення ємності конденсатора з досліджуваним діелектриком до ємності конденсатора з вакуумом в проміжку між пластинами:

$$\varepsilon = C_\alpha / C_0, \quad (4.1)$$

де C_α – ємність конденсатора з діелектриком;

C_0 – ємність вакуумного конденсатора.

Діелектрична проникність – частина енергії поля, яка необоротно розсіюється в діелектрику у формі теплоти. Діелектрична проникність характеризує діелектричні втрати в матеріалі. Ці втрати пов'язані з

поляризацією, виникненням електричного моменту в одиниці об'єму діелектрика при внесенні його в електричне поле.

Діелектричні втрати в кристалічних фазах:

- електронна поляризація – деформація електронних орбіталей;
- іонна поляризація – пружне зрушення різнойменно заряджених іонів в діелектриках з іонним типом зв'язку в протилежних напрямках;
- іонно-релаксаційне зміщення іонів через тепловий рух;
- орієнтація диполів уздовж силових ліній електричного поля;
- релаксаційні втрати при стрибкоподібних переходах діелектрика з одного стану в інший;
- електронно-релаксаційне спотворення структури, при якому можливе переміщення електронів на декілька міжатомних відстаней.

Величини втрат залежать від типу кристалічної структури матеріалу, кількості кристалічної фази, процентного співвідношення різних фаз і вмісту води в матеріалі.

Низькообжигові в'язучі матеріали, які швидко схоплюються і швидко твердіють, отримують при 120-180°C:

- будівельний гіпс, алебастр;
- високоміцний технічний гіпс;
- формувальний гіпс;
- медичний гіпс.

Вироби на їх основі мають низьку теплопровідність. Матеріали легкі, з добрими акустичними властивостями.

Гіпсові вироби при пожежі витримують 5-6 годин без руйнування. Значна повзучість гіпсових виробів обмежує їх застосування для несучих конструкцій.

Гіпсові вироби не можна армувати сталевією арматурією. Гіпс при твердінні має нейтральне середовище і не захищає арматуру від корозії. Гіпсові вироби армують дерев'яною арматурією або скловоліконом.

Гіпсові в'язучі застосовують для штукатурних і обробних робіт. Використовують гіпсо-картонові листи для перегородок і облицювання стін.

Гіпсовий камінь – осадова гірська порода, утворюється при взаємодії вапняків з сульфатними розчинами. Реакція протікає у водному середовищі. CaSO_4 гідратується і кристалізується у вигляді двоводного гіпсу:



Різновиди природного гіпсу:

- прозорий гіпсовий шпат;
- мармуроподібний алебастр;
- волокнистий гіпс, селеніт.

Для звичайних марок будівельного гіпсу застосовують сорти гіпсового каменю із вмістом двогідрату 70-80%.

В кристалічній решітці двоводного гіпсу вода розміщена між полями сульфату кальцію. Вона легко видаляється при нагріванні. Залежно від параметрів теплової обробки утворюються різні модифікації сульфату кальцію:

- двоводний сульфат кальцію, гіпс – $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$;
- α -напівводний сульфат кальцію (α -напівгідрат) – $\alpha\text{-CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$;
- β -напівводний сульфат кальцію (β -напівгідрат) – $\beta\text{-CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$;
- α -зневоднений напівгідрат – $\alpha\text{-CaSO}_4$;
- β -зневоднений напівгідрат $\beta\text{-CaSO}_4$;
- α -розчинний ангідрит $\alpha\text{-CaSO}_4$;
- β -розчинний ангідрит $\beta\text{-CaSO}_4$;
- нерозчинний ангідрит.

Будівельний гіпс складається з β -напівводного сульфату кальцію. β -кристали дисперсні, мають значну кількість дефектів.

Для утворення *гіпсового тіста* потрібно 60-70% води. Надмірна вода випаровується і утворює пори. Затверділий гіпсовий камінь має пористість 30-50%. Чим більше надмірної води, тим більша пористість і нижча міцність штучного каменю.

Залежно від часу схоплювання, розрізняють такі гіпсові в'язучі:

- *швидко твердіючі А* – початок схоплювання – не раніше 2 хв., кінець – не пізніше 15 хв.;
- *нормально твердіючі Б* – початок схоплювання – не раніше 6 хв., кінець – не пізніше 30 хв.;
- *повільно твердіючі В* – початок схоплювання не раніше 20 хв., кінець – не обмежується.

Низькообжигові гіпсові в'язучі набирають міцність через 1,5-2 год.

Процес твердіння напівгідратів складається з реакції гідратації і утворення дигідрату:



Твердіння в'язучих складається з 3 етапів і супроводжується складними фізико-хімічними процесами:

1) *Розчинення напівгідрату у воді* до початку схоплювання. Розчинність дигідрату у воді – 2 г/л, напівгідрату – 8 г/л. При замішуванні з водою напівгідрат розчиняється, потім йде реакція гідратації з утворенням дигідрату. Розчинність дигідрату нижча, ніж напівгідрату, утворюється пересичений розчин. З нього випадають кристали двоводного гіпсу. Розчин стає ненасиченим відносно напівгідрату, його нові порції розчиняються у воді. Процес йде до повного розчинення напівгідрату.

2) *Колоїдація* – утворення колоїдного розчину. Вода взаємодіє з початковим матеріалом без розчинення. При реакції гідратації утворюються гелеподібні оболонки на початкових частках. Гель, що утворився, висихає.

3) *Кристалізація* – кристали дигідрату ростуть, переплітаються, зростаються між собою. Утворюється волокниста структура з дуже тонкими голкоподібними кристалами. Розвиток структури гіпсу протікає у два етапи:

а) *Формування каркаса кристалізаційної структури* з виникненням контактів зрощення між кристалами новоутворень;

б) *Обростання каркаса і зростання складаючих його кристалів*, що призводить до підвищення міцності, але є причиною виникнення внутрішньої напруги. На практиці кристалізація завершується через 20-30хв., набирання міцності – упродовж декількох годин.

У лабораторній роботі визначають час твердіння зразка гіпсового тіста.

Лабораторна установка (рис. 4.1) містить прилад 1 для виміру діелектричної проникності матеріалу 3, з ємнісним датчиком 2 та АЦП ADAM 4019/4020.

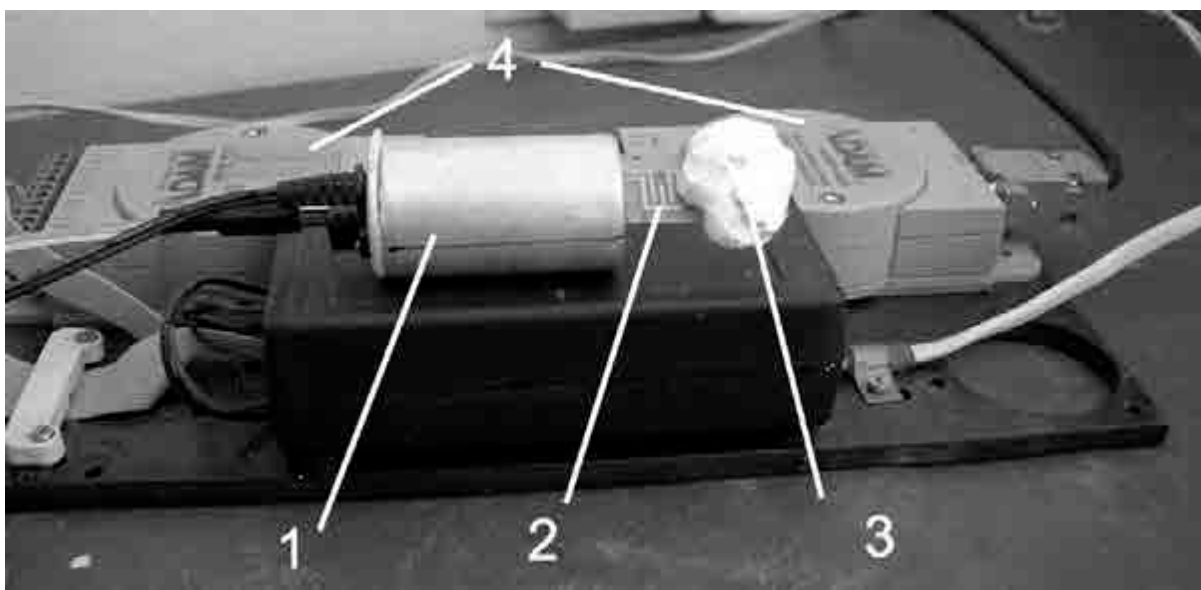


Рис. 4.1 Лабораторна установка: 1 – прилад; 2 – ємнісний датчик; 3 – зразок; 4 – АЦП

Принцип роботи приладу базується на збільшенні ємності датчика за наявності на його поверхні діелектрика і збільшенні коефіцієнта передачі високочастотного сигналу у вимірювальному ланцюгу з цим ємнісним датчиком. Електрична схема приладу наведена на рис. 4.2.

На транзисторі VT1, котушці індуктивності L2, конденсаторах C1-C3 і резисторах R1-R3 зібраний генератор гармонійних коливань з частотою 2,5 МГц. З виходу генератора сигнал поступає на електрод ємнісного датчика B1. З іншого електроду датчика B1 сигнал поступає на детектор, виконаний на діоді VD1 і інтегруючому RC-ланцюгу R10C9. Випрямлена напруга на вході аналого-цифрового перетворювача пропорційна діелектричній проникності розташованого на датчику зразка матеріалу. Сигнал з АЦП ADAM 4019/4020 поступає на порт RS-232 комп'ютера.

Фізико-хімічні процеси, що проходять в процесі твердіння гіпсу, призводять до зміни величини діелектричної проникності зразка. Це викликає зміну сигналу, що поступає на вхід АЦП.

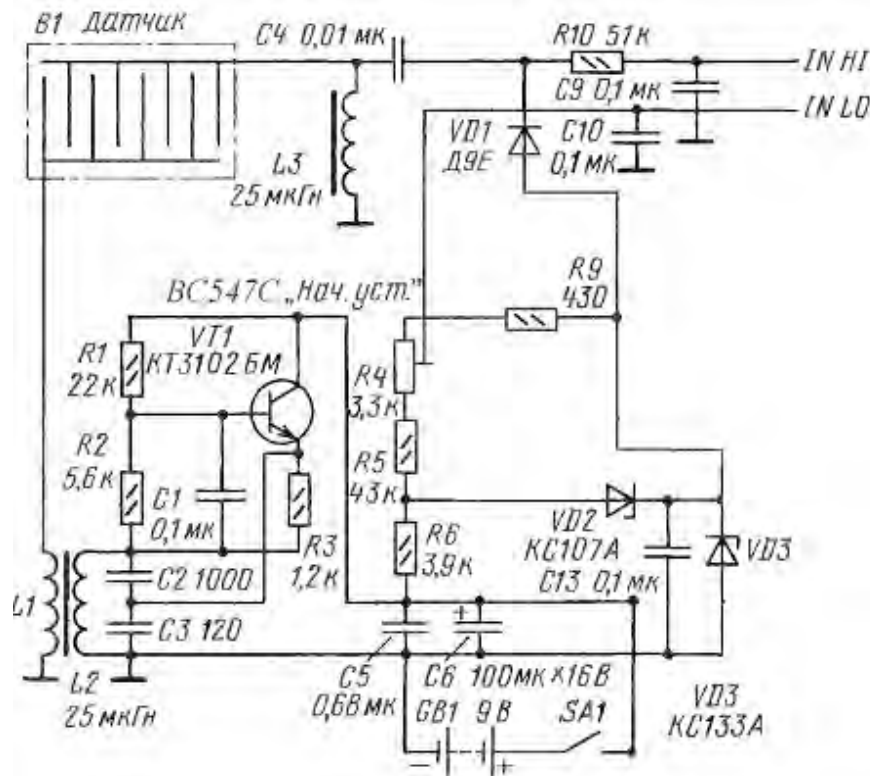


Рис. 4.2 Електрична схема приладу

4.2. Порядок виконання роботи

4.2.1. Включити блок живлення приладу для вимірювання діелектричної проникності матеріалів.

4.2.2. Включити АЦП, запустити програму ADAM Net Utility. Встановити число каналів і границі вимірювання. Встановити частоту вимірів – 1 хв. Включити реєстрацію сигналу з АЦП.

4.2.3. Підготувати гіпсове тісто із вмістом води 60-70%. Покрити тістом поверхню ємнісного датчика.

4.2.4. Провести реєстрацію процесу твердіння гіпсу.

4.2.5. У програмі Excel за експериментальними даними побудувати залежність зміни сигналу на вході АЦП від часу витримки (рис. 4.3).

4.2.6. Визначити час твердіння гіпсу.

4.2.7. Визначити групу гіпсу (А, Б або В) за часом схоплювання.

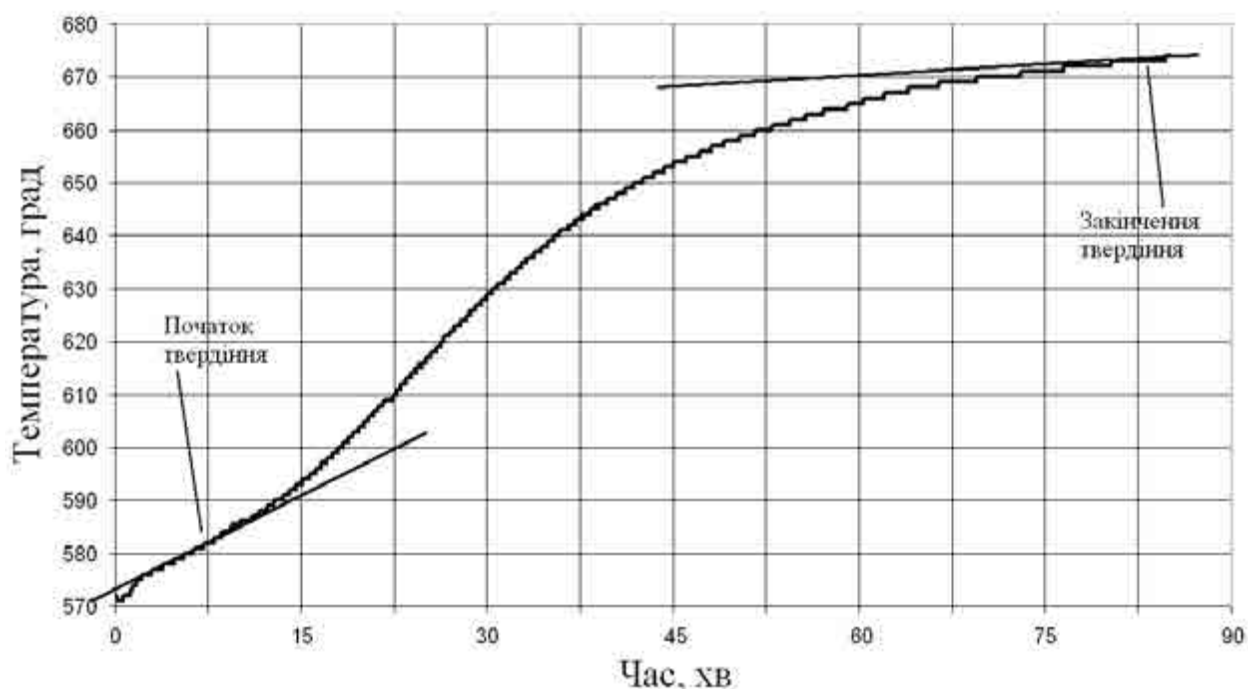


Рис. 4.3 Характер зміни сигналу датчика при твердінні гіпсу

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕНЗОДАТЧИКІВ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ВОГНЕТРИВКОЇ МАСИ

Мета роботи: Ознайомитися з конструкцією і схемами включення тензорезисторів. Експериментально визначити час сушіння вогнетривкої суміші по зміні маси зразків.

Матеріальне забезпечення: Зразки суміші шамоту і каолінової глини, тензодатчики, тензоваги, піч, АЦП ADAM 4019/4020, комп'ютер, програма Excel.

5.1. Теоретичні відомості

5.1.1. Тензодатчики.

Тензорезистори – датчики виміру довжини, сили, тиску, перетворюваних в деформацію пружного елементу.

Тензоефект (tensus – напружений, лат.) полягає в зміні електричного опору провідників і напівпровідників при їх механічній деформації. Опір резистора R:

$$R = \rho L / S, \quad (5.1)$$

де ρ – питомий електричний опір матеріалу; L – довжина провідника; S – площа поперечного перетину провідника.

При прикладенні механічного навантаження змінюється довжина і площа поперечного перетину провідника, змінюється його опір. Відносна зміна опору при деформації резистора ε_R :

$$\varepsilon_R = \frac{\Delta R}{R} , \quad (5.2)$$

де ΔR – приріст електричного опору.

При пружній деформації твердого тіла поперечний ε_b і поздовжній ε_l компоненти деформації пов'язані між собою співвідношеннями:

$$\varepsilon_b = -\mu \cdot \varepsilon_l ; \quad (5.3)$$

$$\varepsilon_b = \Delta b / b ; \quad (5.4)$$

$$\varepsilon_l = \Delta l / l , \quad (5.5)$$

де μ – коефіцієнт Пуассона; b – поперечний розмір провідника; l – його поздовжній розмір. Тоді

$$\varepsilon_R = \frac{\Delta \rho}{\rho} + (1 + 2\mu)\varepsilon_l \quad (5.6)$$

Тензочутливість тензорезистора при лінійному напруженому стані в зоні пружних деформацій характеризує *коефіцієнт тензочутливості* $K_T = \varepsilon_R / \varepsilon_l$. Для металів і сплавів $K_T = 0,9-3,6$. При виготовленні дротового тензорезистора на смужку тонкого паперу або лакову плівку наклеюють зигзагоподібно укладений тонкий дріт діаметром 0,02-0,05 мм. До кінців дроту припаюють мідні виводи. Зверху дріт покривають шаром лаку.

Вимірювальна база перетворювача a – довжина поверхні об'єкта вимірювань, займана дротом (рис. 5.1). Використовують перетворювачі з базою 0,6-120мм, опором 30-1000 Ом. У тонкоплівкових тензорезисторах товщина фольги менша ніж 0,001 мм. Тензорезистори наклеюють на деталь, у якій вимірюють деформацію під навантаженням.

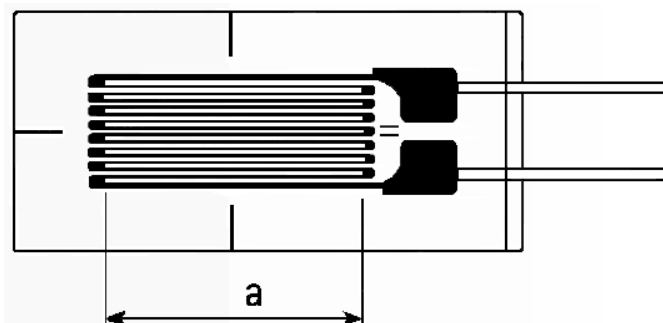


Рис. 5.1 Схема тензорезистора: a – база тензорезистора

Напівпровідникові тензорезистори – тонкі смужки кремнію або германію, вирізані за певними напрямками в кристалах. На кінцях розташовані контактні площадки, до яких припаюють виводи. Напівпровідникові тензорезистори мають довжину 2-12мм, ширину 0,15-0,5 мм, початковий опір 50-10000 Ом, коефіцієнт тензочутливості $K_T = 50-200$. Тензорезистори з'єднують у вимірювальний міст Уїтстона.

Міст Уїтстона утворює паралельне з'єднання двох потенціометрів (рис. 5.2). Його використовують для високоточних вимірювань опору.

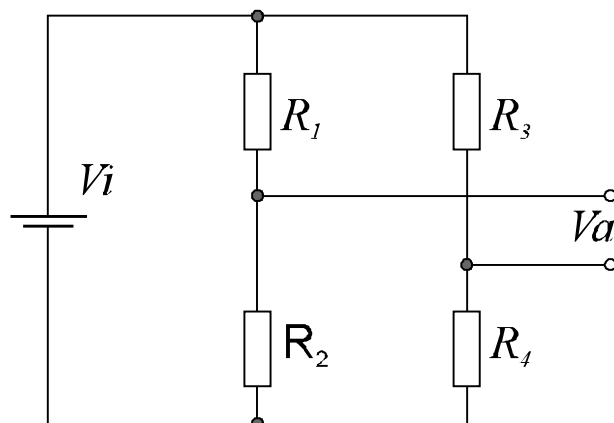


Рис. 5.2 Комбінація двох потенціометричних ділянок, яка утворює міст Уїтстона

Вихідна напруга моста Уїтстона:

$$V_a = V_i \left(\frac{R_3}{R_3 + R_4} - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) \quad (5.7)$$

При точному налаштуванні вихідна напруга моста Уїтстона дорівнює нулю. Це відбувається, коли

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \quad (5.8)$$

Опір тензорезисторів залежить від їх температури:

$$R = R_0(1 + \alpha T), \quad (5.9)$$

де R_0 – опір при температурі 0°C ; T – температура, $^\circ\text{C}$; α – температурний коефіцієнт опору.

Залежності опору металів від температури наведені на рис. 5.3.

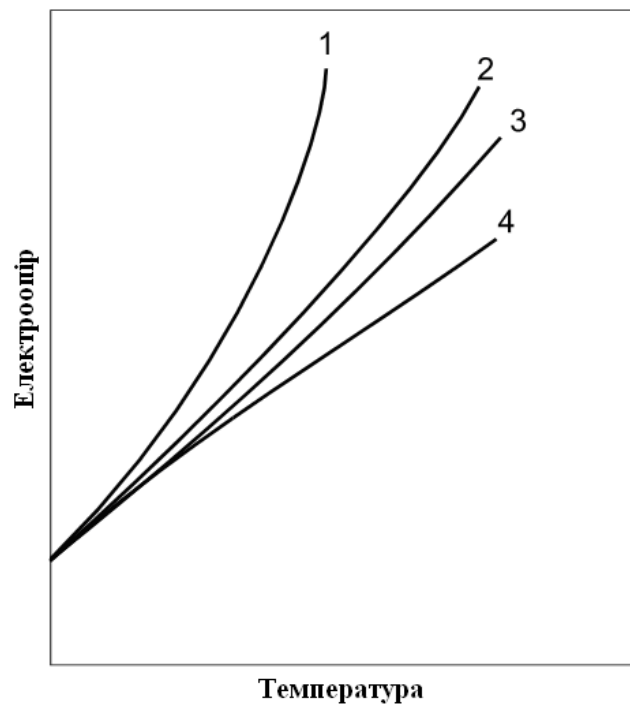


Рис. 5.3 Характер температурної залежності опору металів: 1 – *нікель*, 2 – *вольфрам*; 3 – *мідь*; 4 – *платина*

Для вимірювальних перетворювачів використовують дріт з платини. У вимірювальних схемах застосовують термокомпенсацію. Для цього у двох ідентичних тензорезисторів в різних плечах вимірювального моста підтримують однакову температуру. На один з них впливає сила. Сигнал у вимірювальній діагоналі моста мало залежить від зміни температури.

Сигнал з вимірювальної діагоналі моста Уїтстона посилюють тензо-підсилювачем і через АЦП подають на комп'ютер.

5.1.2. Процес сушіння кераміки.

Виріб, сформований пресуванням, витискуванням скрізь мундштук, пластичним формуванням або шлікерним литтям містить певну кількість вологи, що забезпечує процес формування. Для отримання готового керамічного виробу сформований сирець сушать, оправляють і випалюють при високій температурі. Велика частина дефектів керамічних виробів виникає при сушінні і випалі.

На початку сушіння виробу частинки маси розділяє суцільна плівка води (рис. 5.4, а). В цьому періоді швидкість сушіння дорівнює швидкості випаровування води з вільної поверхні. Вона залежить не від кількості води у виробі, а від температури повітря, вологості і швидкості руху повітря над поверхнею виробу. Найбільша частина усадки відбувається саме в цей період часу.

Критична вологість виробу досягається, коли частинки маси приходять в контакт один з одним (рис. 5.4, б). Це призводить до закінчення усадки і зниження швидкості сушіння, (рис. 5.4, в). Швидкість сушіння знижується через збільшення опору руху води до поверхні виробу (рис. 5.5).

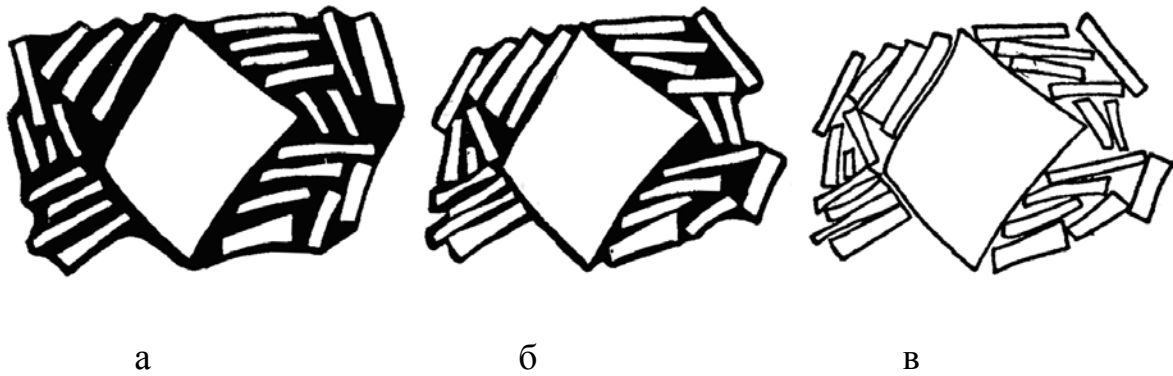


Рис. 5.4 Процес сушіння глинистої маси:

а – волога маса; б – маса в критичній точці; в – сухий виріб

Дефекти при сушінні, виникають, коли в одній частині виробу утворюється тверда структура, вільна від водяних плівок, а в іншій частині усадка все ще триває. У виробі виникають напруження, які викликають викривлення і тріщини. В цьому періоді час сушки, її швидкість повинні ретельно контролюватися.

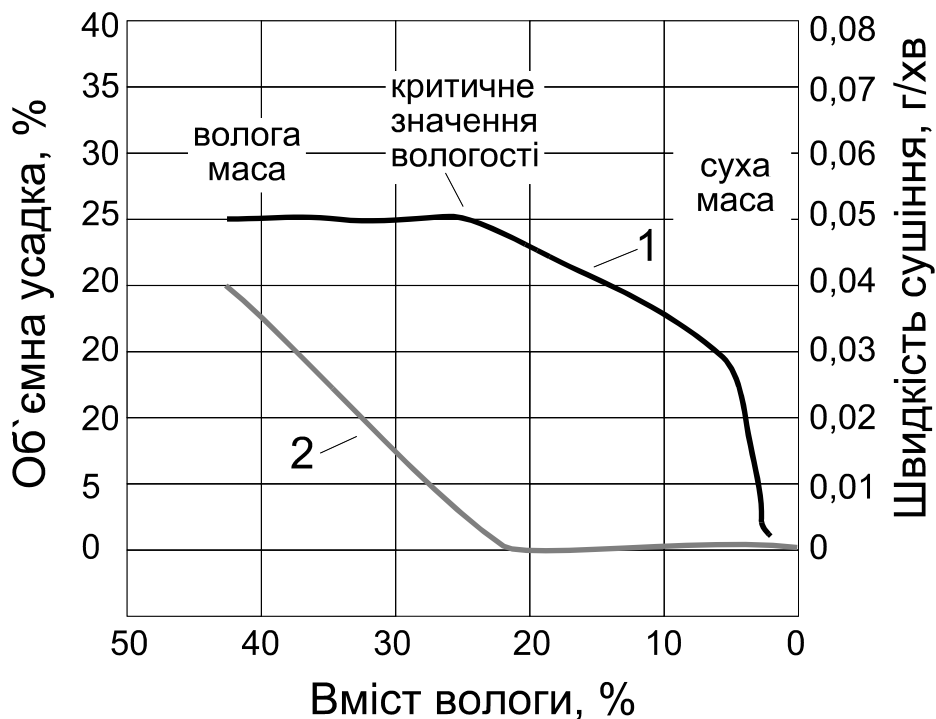


Рис. 5.5 Швидкість сушіння і усадка при сушінні керамічної маси:

1 – швидкість сушіння; 2 – усадка

У лабораторній роботі визначають стадії процесу сушіння зразків вогнетривкої суміші, яка складається з порошку шамоту та каолінової глини. Зміну вмісту води визначають по зміні маси зразків у процесі нагрівання і витримки в печі.

5.1.3. Лабораторна установка.

Лабораторна установка складається з печі 1, блоку управління піччю 4, тензоваги 2, АЦП 6 і комп'ютера. Температуру печі в процесі сушіння контролюють термопарою 5 (рис. 5.6).

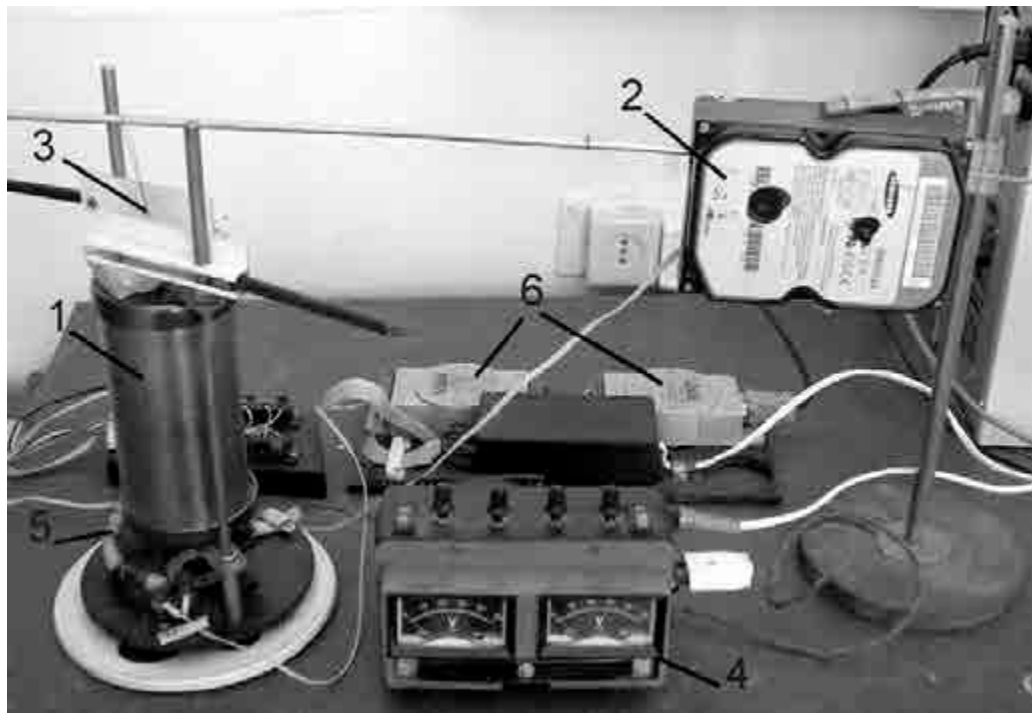


Рис. 5.6 Схема лабораторної установки:

1 – піч, 2 – тензоваги; 3 – підвіска тигля із зразком; 4 – блок управління печі; 5 – термопара; 6 – АЦП ADAM4019/4020

Силувимірювач тензовагів – кільце, виготовлене з тонкої сталюї холоднокатаної стрічки. На кільце наклеєні дровові тензорезистори. Тензорезистори з'єднані в мостову схему. Живлення моста здійснюється постійною напругою 5V. Сигнал з вимірювальної діагоналі моста, посилюється спеціалізованою мікросхемою тензопідсилювача Max-4238 і через АЦП ADAM4019/4020 надходить до порту RS-232 комп'ютера (рис. 5.7).

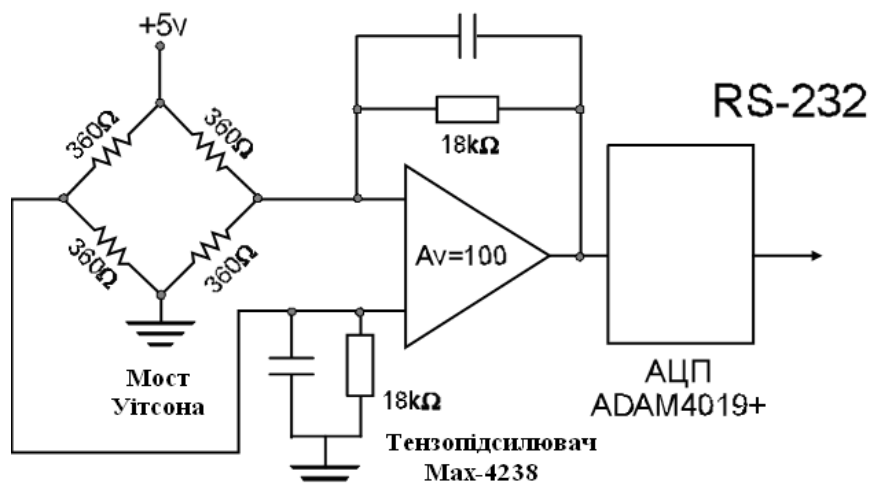


Рис. 5.7 Схема підключення тензомоста

5.2. Порядок виконання роботи

5.2.1. Включити АЦП ADAM, запустити програму ADAM Net Utility.

5.2.2. Встановити число каналів і межі вимірювання. Встановити частоту вимірювань 1 с.

5.2.3. Включити блок управління піччю, встановити напругу живлення 15 В.

5.2.4. Нагріти піч до 200°C.

5.2.5. Металеву ємність заповнити вологою сумішшю каолінової глини і порошку шамоту.

5.2.6. Підвіску з ємністю закріпити на коромислі тензовагів.

5.2.7. Зрівноважити ваги переміщенням вантажу на коромислі вагів.

5.2.8. Ємність помістити в нагріту піч.

5.2.9. Зареєструвати зміну маси навіски з глини і шамоту у процесі сушіння.

5.2.10. У програмі Excel за отриманими даними побудувати графік вимірювання маси зразка (рис. 5.8).

5.2.11. За графіком визначити час досягнення критичної вологості суміші і час закінчення процесу сушіння.

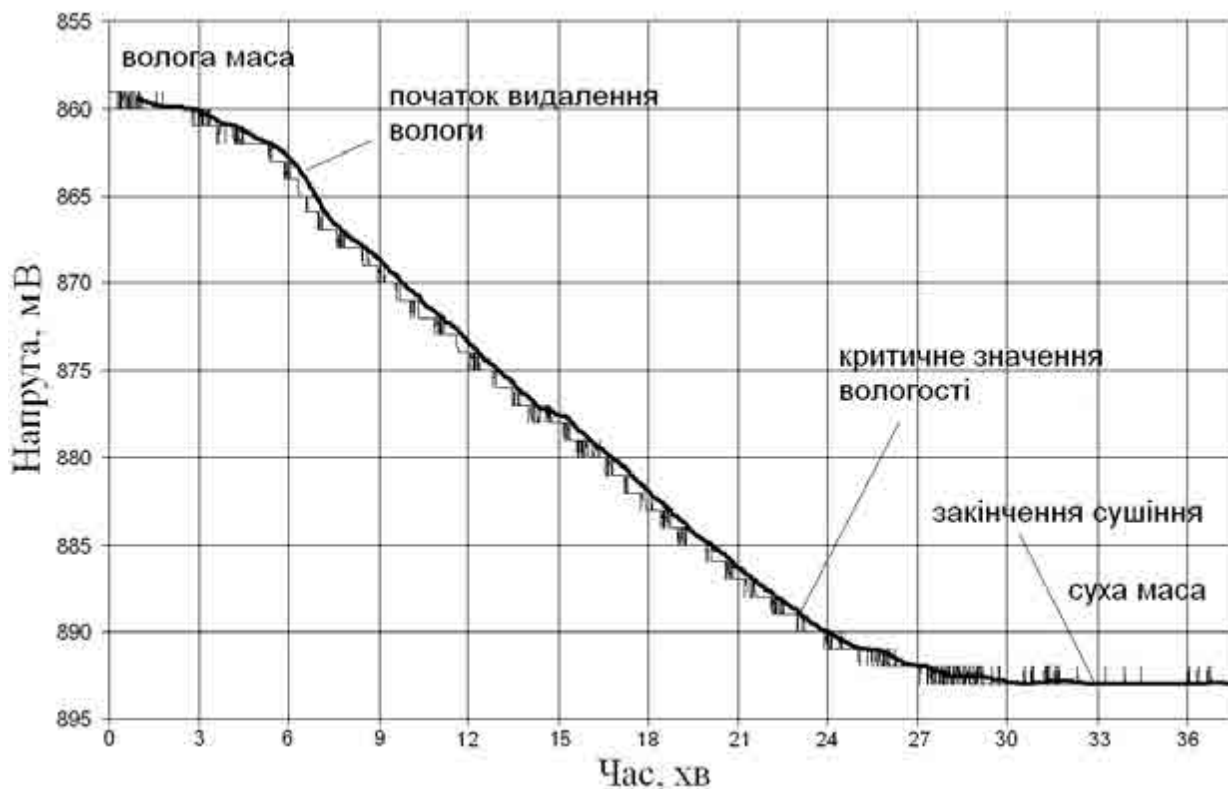


Рис. 5.8 Графік зміни маси зразка в процесі сушіння

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

ВИЗНАЧЕННЯ ТОВЩИНИ НЕМЕТАЛЕВИХ ПОКРИТТІВ

Мета роботи: Набути навичок визначення товщини немагнітних покриттів на виробках.

Матеріальне забезпечення: Набір металевих зразків з неметалевими покриттями, товщиномір МТ-20Н, подвійний мікроскоп МИС-11.

6.1. Теоретичні відомості

Залежно від виду матеріалу застосовують різні методи контролю товщини покриттів.

Визначення товщини плівки лаку або фарби мікрометром здійснюють наступним способом:

- вимірюють мікрометром товщину підкладки;
- відзначають ділянки вимірювання колами діаметром на 2-3 мм більшим за діаметр вимірювальної площадки мікрометра, і нумерують;
- на немарковану сторону наносять випробовуваний лакофарбовий матеріал і висушують згідно з технічними умовами;
- після висихання нанесеного шару здійснюють виміри в зазначених місцях;
- різниця показань мікрометра другого і першого вимірювань відповідає товщині плівки покриття, її розраховують як середнє арифметичне 5-6 вимірювань.

Магнітні товщиноміри, індукційні та індуктивні товщиноміри використовують для немагнітних і слабوماгнітних покриттів на феромагнітній підкладці.

Вихрові товщиноміри застосовують для немагнітних і слабوماгнітних металевих і неметалевих покриттів на немагнітних підкладках; для немагнітних металевих покриттів на діелектричній основі.

Бета-товщиноміри вимірюють товщину покриття при відмінності атомних номерів речовини підкладки та покриття більш ніж на 2-4 одиниці. Середня похибка вимірювань товщини покриття товщиномірами складає $\pm 10\%$.

Прилад МТ-20Н призначений для вимірювання товщини немагнітних покриттів на феромагнітній основі. Діапазон товщин 0-3000 мкм розбитий на піддіапазони:

1. 0-16 мкм, основна похибка $\Delta = \pm(1\text{мкм} + 0,1x)$, де x – дійсне значення вимірюваної величини;
2. 10-75 мкм, $\Delta = \pm(2\text{мкм} + 0,1x)$;
3. 60-30 мкм, $\Delta = \pm(3\text{мкм} + 0,1x)$;
4. 250-000 мкм, $\Delta = \pm(4\text{мкм} + 0,1x)$;

Час встановлення робочого режиму приладу 1 хв. Час безперервної роботи не менше 8 год. Додаткова похибка приладу при радіусі кривизни контрольованої поверхні не меншій 30 мм, шорсткості поверхні основи не грубішій $Ra=1,25$ і товщині основи не меншій 2мм не перевищує 0,5Δ.

Додаткова похибка приладу при зміні температури навколишнього середовища від -10 до +40°C не перевищує 0,5Δ.

Додаткова похибка приладу при зміні відносної вологості до 90% при температурі 30°C не перевищує 0,5Δ.

Додаткова похибка приладу при зміні напруги живильної мережі не перевищує 0,5Δ.

Прилад складається з електронного блоку 1 і перетворювача 2 (рис. 6.1) На правій бічній стінці електронного блоку розташований роз'єм "преобраз" для підключення перетворювача. На лівій стороні електронного блоку розташовано гніздо "земля" для підключення приладу до заземлення.

Принцип дії приладу базується на вимірюванні е.д.с. в сигнальній обкладці перетворювача, яка змінюється пропорційно величині немагнітного зазору між перетворювачем і феромагнітною основою.

Шкала стрілочного вимірювача, мікроамперметр магнітоелектричної системи чутливістю 100мкА, проградуєвана в мкм вимірюваної товщини покриття.



Рис. 6.1 Прилад МТ-20Н для вимірювання товщини немагнітних покриттів: 1 – електронний блок, 2 – перетворювач; 3 – набір еталонів товщини покриттів

Подвійний мікроскоп МІС-11 (рис. 6.2) призначений для визначення висоти нерівностей поверхні від 0,8 до 80 мкм і товщини металевих і неметалевих покриттів. Товщину лакофарбового покриття вимірюють по глибині канавки в плівці, вирізаній скальпелем або ножем на поверхні покриття до підкладки. Ширина канавки 0,2-0,5 мм, довжина 2,5 мм. Точність визначення складає $\pm 0,5$ мкм.

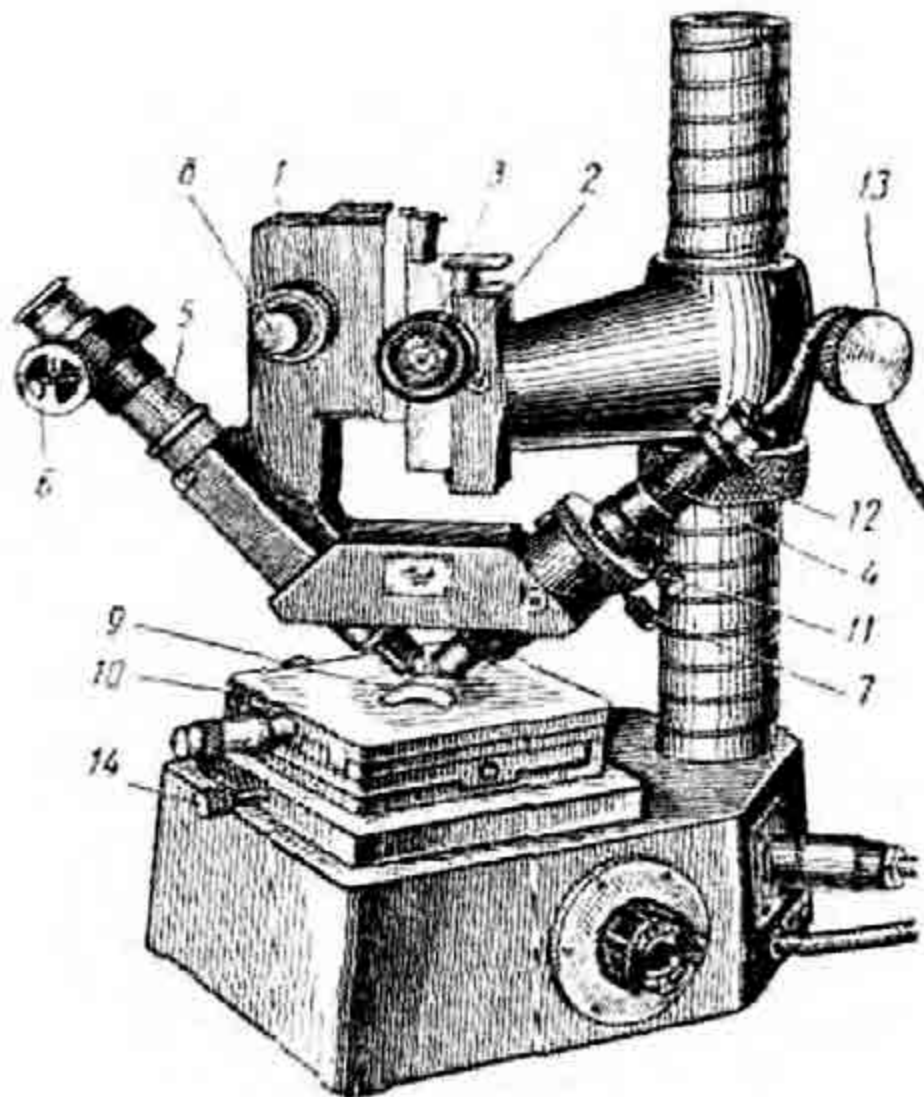


Рис. 6.2 Мікроскоп МІС-11

Салазки корпусу мікроскопів 1 переміщуються по направляючих кронштейна 3 за допомогою рейкової передачі з гвинтом. Фокусування здійснюється гвинтом 8. Прямолінійна щілина освітлюється джерелом світла. Зображення щілини розглядають за допомогою мікроскопа 5 з окулярним мікрометром 6. Зображення щілини в середині поля окуляра встановлюють гвинтом 7. Ширину зображення щілини регулюють кільцем 11. Деталь 9 встановлюють на столі 10. За допомогою мікрометричних гвинтів стіл переміщують у двох взаємно перпендикулярних напрямках. Поворот столу здійснюють при відпущеному гвинті 14.

Контроль шорсткості проводиться за методом світлового перетину. Освітлена щілина проектується проектуючим мікроскопом на поверхню P_1 , яка має сходинку P_2 висотою h (рис. 6.3). У полі зору мікроскопа спостереження, вісь якого розташована під кутом 90° до осі проектуючого мікроскопа зображення щілини буде мати вигляд, показаний на рис. 6.3. Величина зміщення зображення S_1 відносно S_2 служить мірою висоти сходинки h .

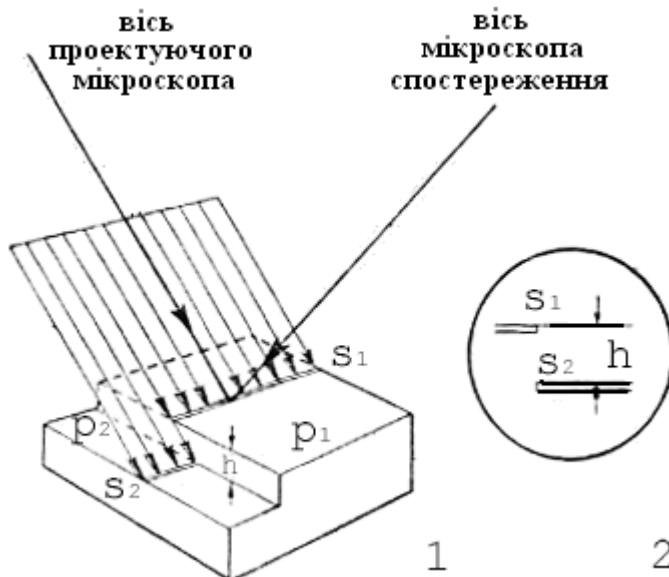


Рис. 6.3. Схема визначення висоти нерівностей поверхні в мікроскопі МИС-11: 1 – схема світлового перетину поверхні; 2 – зображення поля зору

6.2. Порядок виконання роботи

6.2.1. Вимірювання товщини покриття за допомогою приладу МТ-20Н:

- заземлити корпус приладу через гніздо "земля" на лівій бічній стінці електронного блоку;
- підключити перетворювач через роз'єм "преобраз" на правій боковій стінці електронного блоку;
- тумблер мережа встановити в положення "выкл";
- перемикач "поддиапазон" встановити в положення "контр питания";
- увімкнути прилад в мережу з напругою 220 В, 50 Гц;
- увімкнути тумблер "сеть"; стрілка вимірювача має встановитися в межах зачерненого сектора правої частини шкали;
- прилад прогріти протягом 1 хв;
- встановити перемикач "поддиапазон" в положення, яке відповідає передбачуваній товщині покриття;
- встановити перетворювач на міру товщини (рис. 6.4), відповідній початковому значенню шкали встановленого піддіапазону вимірювань, притискаючи наконечник (рис. 6.4, 1) і опорне кільце (рис. 6.4, 2) до міри; на першому піддіапазоні перетворювач встановлюють на непокриту основу;
- обертаючи ручку "уст 0" встановити стрілку вимірювача на значення, яке відповідає вказаній на мірі товщині покриття; на першому піддіапазоні стрілку встановлюють на "0";

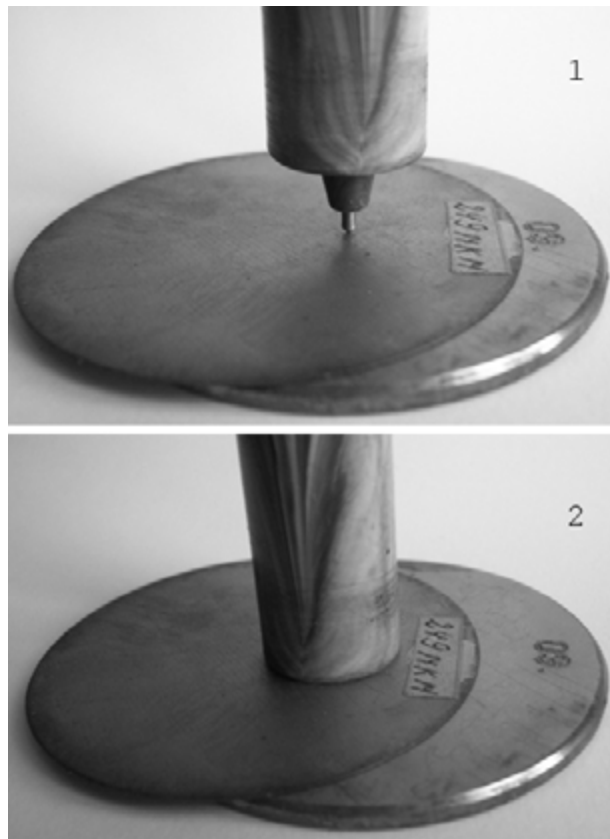


Рис. 6.4 Положення перетворювача при вимірюванні товщини покриттів:
 1 - наконечник торкається міри товщини покриття; 2 – опорне кільце притиснуте до міри

- встановити перетворювач на міру товщини покриття, яка відповідає максимальному значенню шкали піддіапазону;
- обертаючи ручку "чувств" встановити стрілку вимірювача на значення, яке відповідає вказаній на мірі товщині покриття;
- попередні 5 операцій повторити не менше 3-х разів, після чого прилад готовий до проведення вимірювань на даному піддіапазоні вимірювання товщини покриттів;
- дані вимірювань занести в табл. 6.1.

Таблиця 6.1

Результати визначення товщини покриття		
№ з/п	Матеріал покриття	Товщина, мкм

6.2.2. Вимірювання товщини покриття за допомогою подвійного мікроскопа МІС-11:

- визначити ціну поділки шкали окулярного мікрометра за допомогою об'єкт-мікрометра;
- об'єкт-мікрометр встановити на стіл приладу так, щоб його шкала потрапила у зображення щілини і штрихи шкали були перпендикулярні до зображення щілини;

- окулярний мікрометр встановити так, щоб поділки його нерухомої шкали були паралельними до поділок шкали об'єкт-мікрометра (рис. 6.5);

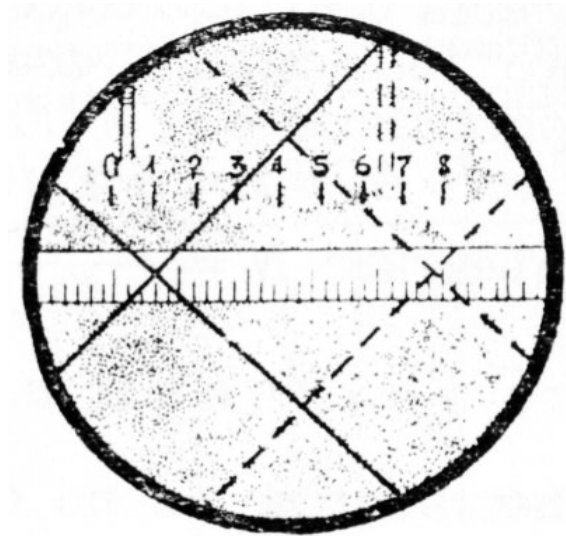


Рис. 6.5 Схема визначення ціни поділки шкали окулярного мікрометра

- перехрестя окулярного мікрометра поєднати з будь-якою поділкою об'єкт-мікрометра; перевести перехрестя на інший штрих і зробити другий відлік по барабану окулярного мікрометра (один оберт барабана – 100 поділок, кількість обертів визначають за шкалою, що знаходиться в полі зору окуляра).

- визначити ціну поділки шкали окулярного мікрометра за формулою:

$$E = \frac{z \cdot T}{2A}, \quad (6.1)$$

де z – кількість поділок шкали об'єкт-мікрометра, пройдених перехрестям окулярного мікрометра; T – ціна поділки об'єкт-мікрометра; A – різниця відліків, виражена в поділках барабана;

- на покритті, нанесеному на підкладку, скальпелем або ножом вирізати канавку до підкладки шириною 0,2-0,5 мм і довжиною 2,5 мм;

- зразок помістити на столик мікроскопа так, щоб світлова смужка перетинала канавку під прямим кутом;

- виміряти товщину покриття в області прорізаної в покритті канавки; вимірювання проводити по верхній, або по нижній стороні світлової щілини; горизонтальну лінію перехрестя підвести до поверхні покриття щілини по вибраній стороні щілини, потім до западини канавки по тій же стороні щілини (рис. 6.6); різниця відліків на барабані мікрометра A_1 , помножена на масштабну ціну поділки E визначить значення товщини покриття h :

$$h = A_1 \cdot E \quad (6.2)$$

- дані вимірювань занести в табл. 6.1.

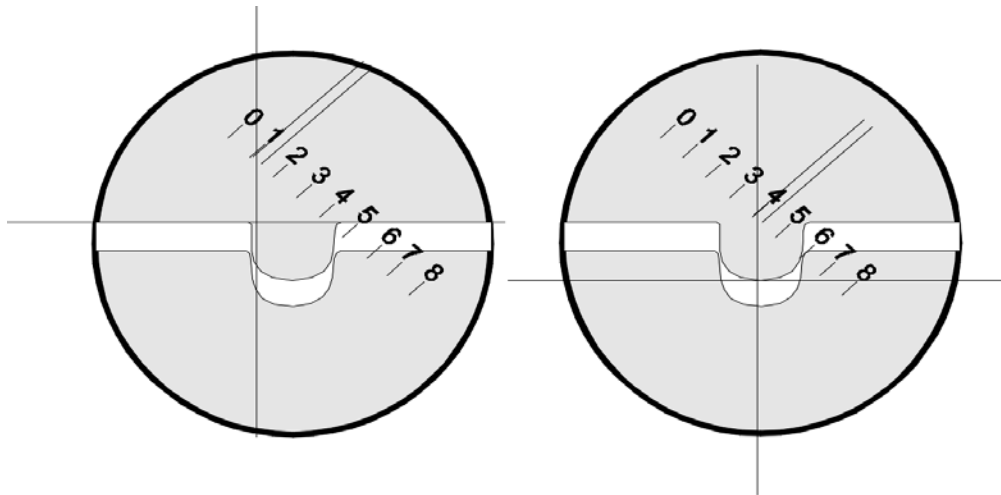


Рис. 6.6 Схема визначення висоти нерівностей профілю (відлік по верхній стороні світлової щілини)

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Соловйов С.М. Основи наукових досліджень: Навч. посібник. – К: ЦУЛ. 2007. – 176 с.
2. Пинчук С.И. Организация эксперимента при моделировании и оптимизации технических систем: Учебн. пособие. – Днепропетровск. ООО Независимая изд. организация “Дива”, 2008. – 248 с.
3. Бондарь А.Г., Статюха Г.А. Планирование эксперимента в химической технологии (основные положения, примеры и задачи). – К: Вища школа, 1976. – 184 с.

