

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Ректор _____ С.В. Іванов
(підпис)

«___» _____ 2014 р.

ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ МАТЕРІАЛИ

ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ
для студентів напряму підготовки 6.050701
“Електротехніка та електротехнології”
денної та заочної форм навчання

Всі цитати, цифровий та фактичний матеріал, бібліографічні відомості перевірені. Написання одиниць відповідає стандартам

Підпис авторів _____

“_____” _____ 2014 р.

СХВАЛЕНО
на засіданні кафедри
машинобудування, стандартизації
та сертифікації обладнання.
Протокол № 12 від 13.05.2014 р.

Реєстраційний номер електронного
лабораторного практикуму у НМВ
31.07-30.05.2014

КИЇВ НУХТ 2014

Електротехнічні матеріали [Електронний ресурс]: лабор. практикум для студ. напряму підготовки 6.050701 “Електротехніка та електротехнології” ден. та заоч. форм навчання / уклад. А.П.Бовсуновський, М.В.Калашнік, О.Г.Дзюб, О.Д.Клюк.- К.: НУХТ, 2014.- 39 с.

Рецензент **М.А. Сологуб**, д-р техн. наук, проф.

Укладачі: **А.П. Бовсуновський**, д-р техн. наук
М.В. Калашнік, канд техн. наук
О.Г. Дзюб
О.Д. Клюк

Відповідальний за випуск **Є. В. Штефан**, д-р техн. наук, проф.

Подано в авторській редакції.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МЕТАЛІВ

Мета роботи – ознайомитися з механічними властивостями матеріалів і методами їх визначення, дослідити залежність твердості сталі від хімічного складу.

Завдання для виконання роботи

1. Ознайомитися з механічними властивостями матеріалів.
2. Ознайомитися з методами визначення твердості матеріалів за методами Брінелля і Роквелла.
3. Виконати дослідження твердості сталі різного хімічного складу.
4. Побудувати графіки залежності твердості сталі від вмісту вуглецю і зробити висновки за результатами роботи.

Прилади і обладнання: зразки з сталі, твердоміри, штангенциркуль.

Теоретичні відомості

Оскільки елементи багатьох електротехнічних конструкцій зазнають впливу статичних і динамічних навантажень, велике практичне значення мають механічні властивості цих матеріалів. До найважливіших механічних характеристик відносять границю міцності, відносне видовження і звуження, ударну в'язкість і твердість.

Границя міцності характеризує статичну міцність матеріалу і визначається найчастіше в результаті іспитів матеріалів на розтяг за наступною формулою

$$\sigma_{\sigma} = \frac{P_{\max}}{F_0},$$

де P_{\max} – максимальна сила, яку витримує зразок перед руйнуванням; F_0 – початкова площа поперечного перерізу зразка. Вимірюється в Паскалях ($\text{Па} = \text{Н}/\text{м}^2$).

Для анізотропних електроізоляційних матеріалів (шаруватих, волокнистих і т.п.) значення границі міцності суттєво залежить від знаку навантаження. Наприклад, для скла, керамічних матеріалів, багатьох пластмас границя міцності при стиску значно більша, ніж при розтягу. Границя міцності металів і полімерних матеріалів суттєво зменшується з підвищенням температури. Міцність гігроскопічних матеріалів також зменшується при збільшенні вологості.

Відносне видовження і звуження характеризують пластичні властивості матеріалу і визначається за формулами

$$\delta = \frac{\Delta l_k}{l_0}; \quad \psi = \frac{\Delta F_k}{F_0},$$

де l_0 і F_0 – початкова довжина і площа поперечного перетину зразка; Δl_k і ΔF_k – максимальне видовження і максимальне зменшення площі поперечного перетину зразка після руйнування. Визначається у відносних одиницях або у відсотках.

Відносне видовженням і звуження визначають найбільший рівень пластичної деформації, що залишається в матеріалі після його руйнування. Чим більше це значення, тим більш пластичним є матеріал. У абсолютно пружного матеріалу відносне видовженням (звуження) дорівнює нулю.

Ударна в'язкість характеризує динамічну міцність матеріалу, тобто здатність матеріалу протистояти швидкозмінним у часі навантаженням, наприклад, удару і визначається формулою

$$a_n = \frac{A}{F},$$

де A – робота руйнування зразка; F – площа поперечного перерізу зразка. Вимірюється Дж/м². Для оцінки ударної в'язкості проводять іспит на згинальний удар на маятникових копрах.

Ударна в'язкість крихких матеріалів значно нижча, ніж пластичних. Наприклад, ударна в'язкість поліетилену $a_n=100$ кДж/м², а для деяких керамічних матеріалів вона складає $a_n=2-5$ кДж/м².

Твердість характеризує здатність матеріалу протистояти механічному проникненню в його поверхню іншого, більш твердого тіла (індентора). Визначається за методами Брінелля, Роквелла, Вікерса й ін. Для визначення твердості за методом Брінелля в якості індентора використовується сталевий загартований куля, а твердість розраховується за формулою

$$HB = \frac{P}{F_{відб}},$$

де P – зусилля, що прикладається до індентора; $F_{відб}$ – площа відбитка, що залишає індентор на поверхні зразку. Вимірюється у одиницях твердості. При цьому зусилля вимірюють у кГ, а площу відбитка – у мм².

У табл. 1.1 наведені значення твердості деяких матеріалів.

Порядок виконання роботи

Для виконання лабораторної роботи використовуються твердоміри Брінелля. Зразки з сталі з різним вмістом вуглецю індентуються у трьох різних місцях на твердомірі Брінелля. Зусилля індентування складає $P=100$ кГ. Діаметри відбитків вимірюються штангенциркулем, після чого

обчислюється площа їх поверхні за формулою

$$F_{\text{відб}} = 0,5\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2}),$$

де D – діаметр індентора; d – діаметр відбитка. Твердість сталевих зразків за Брінеллем визначається як середнє арифметичне трьох вимірів. Дані визначення твердості заносять у табл 1.1.

Таблиця 1.1. Результати досліджень твердості сталі

Вміст вуглецю, %	НВ

За даними табл. 1.1 будують графік залежності твердості зразків від вмісту вуглецю і роблять висновки за результатами роботи.

Запитання для самоконтролю

1. Які механічні характеристики визначають статичну і динамічну міцність матеріалів?
2. Які характеристики визначають пластичні властивості матеріалів?
2. Які методи визначення твердості ви знаєте?
3. Як визначається твердість за методом Брінелля?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПЛАСТИЧНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ І РЕКРИСТАЛІЗАЦІЇ НА СТРУКТУРУ МЕТАЛІВ

Мета роботи – ознайомитися з поняттям рекристалізації, дослідити вплив пластичної деформації і рекристалізації на структуру і властивості алюмінію.

Завдання для виконання роботи

1. Ознайомитися з поняттям рекристалізації металів.
2. Навчитись визначати температуру рекристалізації металів.
3. Дослідити вплив пластичної деформації на структуру алюмінію.
4. Побудувати графік залежності розміру зерна алюмінію від величини пластичної деформації і зробити висновки за результатами роботи.

Прилади і обладнання: зразки з алюмінію, пристрій для пластичного деформування зразків, штангенциркуль, вимірювальний мікроскоп, термоміч.

Теоретичні відомості

За впливом на структуру і властивості матеріалів розрізняють пружну і пластичну деформацію.

Пружною називають деформацію, яка повністю зникає після розвантаження тіла. Деформування тіла з пружного матеріалу описується законом Гука.

Пластичною, або залишковою, називають деформацію, яка залишається в тілі після його розвантаження.

Пластична деформація на мікрорівні проявляється в деформуванні кристалів. На рівні кристалічних ґраток цей процес зумовлений відносним зсувом однієї частини кристалу відносно іншої. В реальному кристалі має місце зсув не всієї площини кристалу, а лише дислокацій (лінійний дефект кристалічної ґратки). Кількість дислокацій впливає на міцність кристалу. Спочатку їх збільшення призводить до падіння міцності, але після досягнення певної густини вони починають збільшувати міцність внаслідок того, що дислокації починають перешкоджати рухатись одна одній. Відбувається наклеп металу.

Рекристалізація - процес утворення і росту (або тільки росту) одних зерен (кристалітів) полікристалу за рахунок інших тієї ж фази. Швидкість рекристалізації збільшується з підвищенням температури. Рекристалізація протікає особливо інтенсивно в пластично деформованих матеріалах. При цьому розрізняють три стадії рекристалізації: первинну, коли в деформованому матеріалі утворюються нові неспотворені кристали, які збільшуються, та вторинну рекристалізацію, збиральну - неспотворені зерна ростуть за рахунок один одного, внаслідок чого середня величина зерна збільшується, і вторинну рекристалізацію, що відрізняється від збиральної тим, що здатність до росту мають тільки деякі з неспотворених зерен. В ході вторинної рекристалізації утворюється структура з різними розмірами зерен.

Для визначення температури рекристалізації технічно чистих металів (K) використовують формулу

$$T_{рекp} = 0,4T_{пл}, \quad (2.1)$$

де $T_{пл}$ – температура плавлення (K).

При певній пластичній деформації ріст зерна при рекристалізації відбувається найбільш інтенсивно. Цю деформацію називають критичною деформацією для даного металу.

Порядок виконання роботи

Попередньо підготовлені зразки з алюмінію марки А1 з початковою довжиною $L_0=100$ мм деформують розтягуванням у спеціальному пристрої

таким чином, щоб отримати рівень пластичної деформації ε в межах від 1 до 10%. Схема деформування зразків показана на рис. 2.1. Для контролю рівня пластичної деформації зразка використовують штангенциркуль, за допомогою якого вимірюють довжину деформованого зразка L . Абсолютна деформація зразка визначається як різниця $\Delta L = L - L_0$, а відносна деформація – за формулою

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} 100\% .$$

За відомою температурою плавлення алюмінію $t_{пл} = 660^\circ\text{C}$ визначається температура рекристалізації за формулою (2.1). Після цього зразки піддають рекристалізаційному відпалу протягом 20 хв. при температурі, що перевищує температуру рекристалізації, з подальшим охолодженням на повітрі. Поверхня зразків протравлюється для виявлення структури.

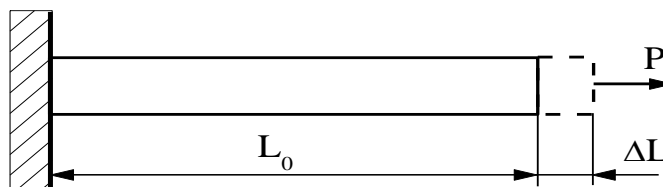


Рис. 2.1 – Схема деформування зразка

За допомогою вимірювального мікроскопа визначається розмір зерен на кожному зразку. Результати вимірювань заносять у табл. 2.1, де z – розмір зерна.

Таблиця 2.1. Результати досліджень структури алюмінію

$\varepsilon, \%$	0	1	2	4	6	8	10
$z, \text{мм}$							

За даними табл. 2.1 будують графік залежності розміру зерна після рекристалізації від ступеня попередньої пластичної деформації $z = f(\varepsilon)$. За цим графіком визначається критична деформація для алюмінію.

Запитання для самоконтролю

1. Яким чином пластична деформація впливає на структуру металів?
2. Як визначається температура рекристалізації?
3. Що відбувається з структурою металу при рекристалізації?
4. Як визначається критична деформація?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПЛАСТИЧНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ І РЕКРИСТАЛІЗАЦІЇ НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МЕТАЛІВ

Мета роботи – ознайомитись з поняттями наклепу і повернення, дослідити вплив пластичної деформації і рекристалізації на механічні властивості міді.

Завдання для виконання роботи

1. Ознайомитися з поняттями наклепу і повернення.
2. Дослідити вплив пластичної деформації на твердість і міцність міді.
3. Дослідити вплив рекристалізації на твердість і міцність міді.
4. Побудувати графік залежності твердості міді від величини пластичної деформації до і після рекристалізації і зробити висновки за результатами роботи.

Прилади і обладнання: зразки з міді, гідравлічний прес для пластичного деформування зразків, штангенциркуль, твердомір Роквелла, термopіч.

Теоретичні відомості

При пластичному деформуванні металів і сплавів відбувається зміна їх структури і, отже, властивостей. Зміцнення металів при холодному пластичному деформуванні називають **наклепом** або **нагартуванням**. При наклепі збільшується міцність і твердість металів, але зменшується пластичність. Наклеп використовують для зміцнення поверхні багатьох елементів конструкцій.

Наклеп є структурно нестійким станом металу. Після наклепу в металі відбуваються процеси переходу до більш рівноважного стану, причому цей процес прискорюється збільшенням температури. Процеси переходу до рівноважного стану проходять у дві стадії. При відносно низьких температурах (нижчих за $0,3T_{пл}$) проходить **повернення**, або **відпочинок**. При цьому відбувається часткова зміна властивостей (невелике зниження міцності і підвищення пластичності) без зміни мікроструктури, тобто форма і розмір зерен не змінюються. При вищих температурах проходить процес рекристалізації, тобто утворення нових рівноважних зерен і повне зняття наклепу.

Гаряча обробка тиском відбувається при температурі вищій за температуру рекристалізації. В протилежному випадку це буде **холодна обробка**. При гарячій обробці зміцнення і наклеп одразу зникають внаслідок рекристалізації.

Порядок виконання роботи

Для виконання лабораторної роботи використовуються зразки з міді $M1$ діаметром 10 мм і початковою довжиною $L_0=15$ мм. Зразки деформують стисканням на гідравлічному пресі таким чином, щоб отримати рівень пластичної деформації $\varepsilon=10, 20$ і 40% . Це досягається використанням при деформуванні зразків спеціальних обмежувальних шайб заданої висоти. Схема деформування зразка показана на рис. 3.1.

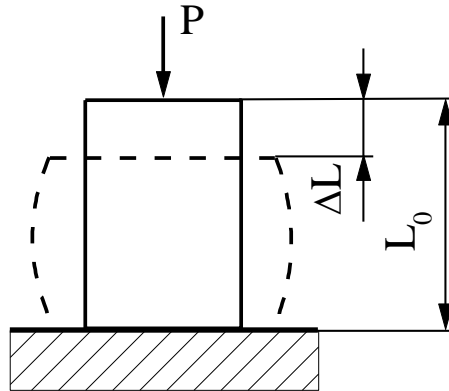


Рис. 3.1 – Схема деформування зразка

Після цього за допомогою твердоміра Роквелла (шкала B) визначається твердість зразків HRB . На кожному зразку виконується по три вимірювання з занесенням до табл. 3.1 середнього арифметичного значення. За спеціальною перевідною таблицею значенням твердості за Роквеллом знаходять відповідник за Брінеллем (HB). Твердість зразків за Брінеллем також заносять до табл.

Оскільки між твердістю за Брінеллем і границею міцності металів існує наближена залежність

$$\sigma_s = 4,0 \cdot HB,$$

це дає можливість визначити границю міцності міді, знаючи її твердість за Брінеллем. Результати обчислень також заносять у табл. 3.1.

Після проведення першої серії дослідів, мідні зразки піддають рекристалізаційному відпалу. Температуру рекристалізації міді визначають за формулою (2.1), маючи на увазі, що температура плавлення міді $t_{пл}=1083^\circ\text{C}$. Виконується нова серія вимірювання твердості рекристалізованих зразків, аналогічна попередній, з визначенням твердості за Брінеллем і границі міцності. Результати вимірювань і обчислень також заносять у табл.

За даними табл. 3.1. будують графіки залежності $HB=f(\varepsilon)$ і $\sigma_s=f(\varepsilon)$ після пластичної деформації і після рекристалізації і роблять висновки за результатами роботи.

Таблиця 3.1. Результати досліджень міді

ε , %	Після деформації			Після рекристалізації		
	<i>HRB</i>	<i>HB</i>	$\sigma_{\text{в}}$, МПа	<i>HRB</i>	<i>HB</i>	$\sigma_{\text{в}}$, МПа
0						
10						
20						
40						

Запитання для самоконтролю

1. Що таке наклеп і як він впливає на властивості металів?
2. Чим відрізняється гаряча і холодна обробка тиском?
3. Як визначити границю міцності металу, знаючи його твердість?
4. Як пластична деформація змінює твердість міді?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 4

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РЕЖИМУ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СТАЛІ

Мета роботи – ознайомитися з видами термічної обробки металів, дослідити вплив режиму гартування на механічні властивості сталі.

Завдання для виконання роботи

1. Ознайомитися з видами термічної обробки металів.
2. Дослідити вплив гартування на твердість і міцність сталі.
3. Дослідити вплив швидкості охолодження на твердість і міцність сталі.
4. Побудувати графік залежності твердості сталі від температури нагріву і від швидкості охолодження і зробити висновки за результатами роботи.

Прилади і обладнання: зразки з сталі 45, термopіч, твердомір Роквелла.

Теоретичні відомості

Термічна обробка сталі полягає у їх нагріванні до певної температури з подальшим охолодженням з певною швидкістю. Варіюванням температурою і швидкістю охолодження можна змінювати структуру сталі, а, отже, і їх

механічні і фізичні властивості. Розрізняють наступні основні види термічної обробки сталі: гартування, відпуск, відпал і нормалізація.

Гартування полягає у нагріванні сталі до температури, що перевищує температуру фазового перетворення, з подальшим швидким охолодженням. Охолодження здійснюють у середовищі з високою теплоємністю (вода, мінеральне масло). Результатом гартування є значне збільшення міцності і твердості металів, а також зменшення їх пластичності і ударної в'язкості. Негативним наслідком гартування є те, що у сталі виникають значні внутрішні механічні напруження, які можуть бути причиною руйнування деталі або елемента конструкції. Для зменшення цих напружень після гартування використовують інший вид термічної обробки, а саме відпуск.

Відпуск полягає у нагріванні сталі до температури, що не перевищує температуру фазового перетворення, з подальшим повільним охолодженням на повітрі. Після відпуску до деякої міри зменшується твердість і міцність сталі, але збільшується пластичність і в'язкість. Відпуск в основному, проводять після загартування для зняття внутрішніх напружень. Розрізняють низький (нагрівання до 200°C), середній (нагрівання до 500°C) та високий (нагрівання до 700°C) відпуск сталей. Низький відпуск застосовують при виготовленні різального і вимірювального інструменту, цементованих деталей та ін; середній – при виробництві ковальських штампів, пружин, ресор; високий – для багатьох деталей, що зазнають дії високих навантажень (осі автомобілів, шатуни і т.п.).

Відпал полягає у нагріванні металу до температури, що перевищує температуру фазового перетворення, витримці тривалий час при цій температурі і повільним охолодженням (наприклад, разом з піччю). Головна мета відпалу полягає у зменшенні внутрішніх механічних напружень, що виникають в результаті попередньої механічної обробки, за рахунок гомогенізації структури. Крім того відпал до деякої міри підвищує пластичність сталі і зменшує їх твердість.

Нормалізація відрізняється від відпалу лише тим, що охолодження здійснюють на повітрі. Після нормалізації утворюється однорідна, але більш дрібнозерниста структура, ніж після відпалу, тому твердість і міцність сталі після відпалу вищі, ніж після нормалізації.

Метод пробних гартувань застосовується для визначення критичних точок A_{c1} та A_{c3} для доевтектоїдних сталей і полягає у гартування зразків з досліджуваної сталі в широкому діапазоні температур, починаючи від температури, що не перевищує критичну точку A_{c1} , (наприклад, 650°C) і закінчуючи температурою, вищою за критичну точку A_{c3} (наприклад, 850°C), з подальшим вимірюванням твердості зразків.

Порядок виконання роботи

Для дослідження використовуються зразки з сталі 45 у вигляді циліндрів діаметром 20 мм і висотою 10 мм. Чотири зразки гартуються з охолодженням у воді після нагрівання до температури 650, 750, 850 і 1000°C, відповідно. Один зразок гартується з охолодженням у маслі після нагрівання до

температури 850°C. Ще Один зразок нормалізується з охолодженням на повітрі після нагрівання до температури 850°C.

Після термообробки визначається твердість *HRC* зразків на твердомірі Роквелла (шкала С). При цьому на кожному зразку виконується три виміри з занесенням у табл. 4.1 середньоарифметичного значення. За спеціальною перевідною таблицею значенням твердості за Роквеллом знаходять відповідник за Брінеллем (*HB*). Твердість зразків за Брінеллем також заносять до табл., де t_n – температура нагріву зразка, V_{ox} – швидкість охолодження.

Таблиця 4.1. Результати досліджень сталі 45

№ зразка	$t_n, ^\circ\text{C}$	Охолоджуюче середовище	Твердість	
			<i>HRC</i>	<i>HB</i>
1	650	Вода, $V_{ox}=1000^\circ\text{C}/\text{c}$		
2	750			
3	850			
4	1000			
5	850	Масло, $V_{ox}=100^\circ\text{C}/\text{c}$		
6	850	Повітря, $V_{ox}=10^\circ\text{C}/\text{c}$		

За даними табл. 4.1. будують графік залежності $HB=f(t_n)$, використовуючи дані для зразків 1-4, а також графік залежності $HB=f(V_{ox})$, використовуючи дані для зразків 3, 5 і 6 і роблять висновки за результатами роботи.

Запитання для самоконтролю

1. Які параметри визначають режими термічної обробки металів?
2. Чим відрізняється гартування від відпалу?
3. В чому полягає метод пробних гартувань?
4. Яким чином температура нагріву впливає на твердість сталі при гартуванні?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 5

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОСТІЙКОСТІ ТВЕРДИХ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ (ДІЕЛЕКТРИКІВ)

Мета роботи – ознайомитися з методами визначення теплостійкості полімерних матеріалів, дослідити теплостійкість вініпласта і визначити клас його нагрівостійкості.

Завдання для виконання роботи

1. Ознайомитися з поняттями теплостійкості і нагрівостійкості діелектриків.
2. Ознайомитися з методикою дослідження теплостійкості за методом Мартенса.
3. Виконати дослідження теплостійкості вініпласта за методом Мартенса.
4. Оцінити клас нагрівостійкості вініпласта.

Прилади і обладнання: зразок з вініпласта, електропіч, система механічного навантажування зразка, термометр, система вимірювання деформації зразка.

Теоретичні відомості

Нагрівостійкість діелектрика – це здатність діелектриків і виробів з них витримувати тривалий час, що вимірюється у год., вплив високої температури без погіршення їх властивостей. Встановлено сім класів нагрівостійкості діелектричних матеріалів. Приклади деяких з цих матеріалів наведено у табл. 5.1.

Теплостійкість діелектрика – це здатність тіла з даного матеріалу зберігати форму і розміри при підвищенні температури. Оцінюється за методами Мартенса і Віка і вимірюється у град. Найчастіше це поняття використовується по відношенню до полімерів.

За методом Віка у зразок при підвищенні температури втискається індентор. Температура, при якій досягається задана глибина проникнення індентора, є теплостійкістю за Віком.

Теплостійкість за Мартенсом визначається за допомогою методу, за яким зразок у вигляді консольний закріпленого стрижня прямокутного поперечного перетину навантажують згинальним моментом, що створює напруження 5 МПа. Рівномірно збільшуючи температуру, спостерігають за згинальною деформацією. Температура, при якій деформація досягає значення 6 мм, є теплостійкістю за Мартенсом.

Теплостійкість за Віком завжди вища, ніж за Мартенсом.

Таблиця 5.1. Класи нагрівостійкості діелектриків

Класи нагрівостійкості	Максимальна допустима температура, °С	Діелектрики, що відповідають даному класу нагрівостійкості
У	90	Волокнисті діелектрики с целюлози, бавовни, шовку
А	105	Просочені рідкими діелектриками волокнисті матеріали с целюлози, бавовни, натурального, синтетичного чи штучного шовку
Е	120	Синтетичні органічні матеріали (волокна, смоли, компаунди, плівки)
В	130	Матеріали на основі слюди, асбесту і скловолокна з органічними зв'язуючими
F	155	Матеріали на основі слюди, асбесту і скловолокна з синтетичними зв'язуючими
Н	180	Матеріали на основі слюди, асбесту і скловолокна з кремнійорганічними зв'язуючими
С	>180	Слюда, керамічні матеріали, скло, фторопласт

Порядок виконання роботи

Для виконання лабораторної роботи використовується установка, зображена на рис. 5.1.

Зразок 9 з вініпласту розміром 120×15×10 мм закріплений консольно до масивної плити 4 защемленням 3. До другого кінця зразка закріплено ричаг 8 з грузом 7. Груз розташовують таким чином, щоб механічні напруження у зразку були 5 МПа. Навантажуючий пристрій розташований у печі 10. Швидкість нагрівання не повинна перевищувати 50°С за год. через низьку теплопровідність полімерних матеріалів. Вимірювання температури здійснюється за допомогою термометра 2.

До кінця ричага 8 кріпиться стрижень 5 з стрілочкою 11, призначені для вимірювання прогину зразка за допомогою лінійки 6.

Результати вимірювання температури і деформації зразка заносяться у табл. 5.2, де t_i – температура зразка; L_i – абсолютне значення показів на лінійці; $\Delta L_i = L_{i+1} - L_i$ – деформація зразка; ΔL_{max} – деформація зразка, при якій визначається теплостійкість матеріалу, $i=1, 2, \dots, n$ – порядковий номер вимірювання.

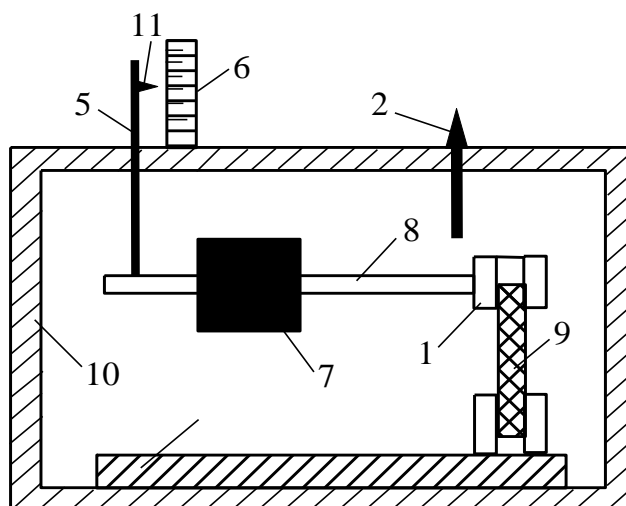


Рис. 5.1 – Установка для дослідження теплостійкості

За даними табл. 5.2 будується графік залежності $\Delta L(t)$. За цим графіком визначається теплостійкість вініпласту, що відповідає деформації зразка 6 мм, і роблять висновки за результатами роботи.

Таблиця 5.2. Результати досліджень теплостійкості вініпласту

i	$t_i, ^\circ\text{C}$	$L_i, \text{мм}$	$\Delta L_i, \text{мм}$	$\Delta L_{max}, \text{мм}$
				6 мм

Запитання для самоконтролю

1. Яка відмінність між теплостійкістю і нагрівостійкістю матеріалів?
2. Скільки класів нагрівостійкості існує?
3. Чим відрізняються методи Віка і Мартенса?
4. Які матеріали відносять до найвищого класу нагрівостійкості?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 6

ДОСЛІДЖЕННЯ ХОЛОДНОТЕКУЧОСТІ ТВЕРДИХ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ

Мета роботи – ознайомитися з поняттям і методикою дослідження холоднотекучості полімерних матеріалів, а також дослідити холоднотекучість поліетилену.

Завдання для виконання роботи

1. Ознайомитися з поняттям холоднотекучості полімерних матеріалів.
2. Ознайомитися з методикою дослідження холоднотекучості полімерних матеріалів.
3. Дослідити холоднотекучість поліетилену.
4. Побудувати графік залежності деформації зразка з поліетилену від часу і зробити висновки за результатами роботи.

Прилади і обладнання: зразок з поліетилену, установка для закріплення і механічного навантажування зразка, система вимірювання деформації зразка, секундомір.

Теоретичні відомості

Холоднотекучістю твердих матеріалів називається їх здатність деформуватися або змінювати форму при температурах нижчих за температуру плавлення під дією власної ваги або зовнішніх навантажень.

Холоднотекучість є однією з основних властивостей аморфних матеріалів. Це явище проявляється і при нормальній температурі, що необхідно враховувати при експлуатації полімерів. Наприклад, внаслідок холоднотекучості фторопластові ущільнення можуть не забезпечити герметичність при підвищенні тиску. Холоднотекучість полімерних матеріалів залежить від температури, навантаження і природи наповнювача. Введення наповнювачів знижує холоднотекучість, підвищує міцність і твердість полімерних матеріалів.

Порядок виконання роботи

Для виконання лабораторної роботи використовується установка, зображена на рис. 6.1. Зразок з поліетилену розміром $120 \times 19 \times 0,1$ мм закріплюється зверху. Знизу до нього підвішується вантаж $P=12$ Н. Під його дією зразок деформується (видовжується).

Результати вимірювання деформації зразка і часу його деформування заносяться у табл. 6.1, де t_i – час деформування; L_0 – початкова довжина зразка; H_i – абсолютне значення показів на лінійці; ΔL_i – абсолютна деформація зразка; ε_i – відносна деформація зразка; $\Delta \varepsilon_i$ – відносна деформація

зразка; Δt_i – час i -го вимірювання; $\Delta \varepsilon_i / \Delta t_i$ – швидкість деформації; i – порядковий номер вимірювання.

Для визначення цих величин використовуються наступні формули:

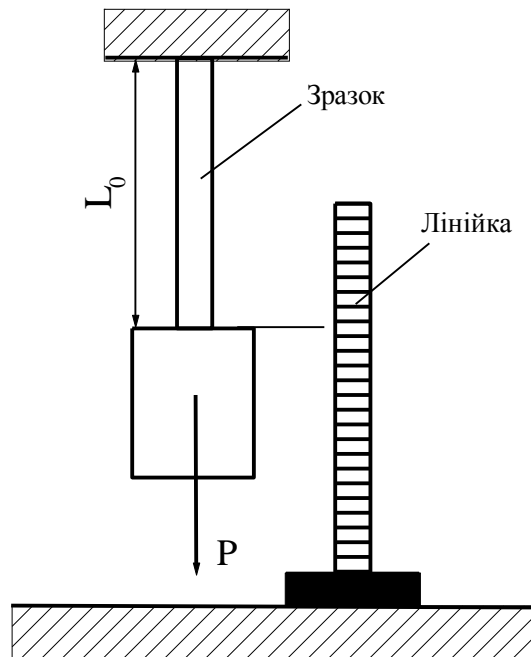


Рис. 6.1 – Установка для дослідження холоднотекучості

$$\Delta L_i = H_i - H_0 ;$$

$$\varepsilon_i = (\Delta L_i / L_0) * 100\% ;$$

$$\Delta \varepsilon_i = \varepsilon_i - \varepsilon_{i-1} ;$$

$$\Delta t_i = t_i - t_{i-1} ,$$

де $i=1, 2, 3, \dots, n$. Для першого вимірювання ($i=0$) приймається, що $\Delta L_0=0$ і $\varepsilon_0=0$, а величини $\Delta \varepsilon_0$, Δt_0 і $\Delta \varepsilon_0 / \Delta t_0$ не визначаються.

Таблиця 6.1. Результати досліджень холоднотекучості поліетилену

i	t_i , с	L_0 , мм	H_i , мм	ΔL_i , мм	ε_i , %	$\Delta \varepsilon_i$, %	Δt_i , с	$\Delta \varepsilon_i / \Delta t_i$
0	0			0	0	-	-	-
1								
2								
3								

За даними таблиці будуються графіки залежності $\varepsilon=f(t)$ і $\Delta\varepsilon/\Delta t=f(\varepsilon)$ і роблять висновки за результатами роботи.

Запитання для самоконтролю

1. Що таке холоднотекучість?
2. Від яких чинників залежить холоднотекучість полімерних матеріалів?
3. Чим небезпечна холоднотекучість полімерів?
4. В чому полягає методика дослідження холоднотекучості?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 7

ДОСЛІДЖЕННЯ ЧАСТОТНОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ ДІЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРОНИКНОСТІ ТА ДІЕЛЕКТРИЧНИХ ВТРАТ ДІЕЛЕКТРИКІВ

Мета роботи – ознайомитися з резонансним методом визначення діелектричної проникності і діелектричних втрат діелектриків, дослідити залежність цих характеристик фторопласту від частоти електричного поля.

Завдання для виконання роботи

1. Ознайомитись з електричними характеристиками діелектриків.
2. Ознайомитися з резонансним методом визначення діелектричної проникності і діелектричних втрат діелектриків.
3. Виконати дослідження впливу частоти електричного поля на діелектричну проникність і діелектричні втрати фторопласту і зробити висновки за результатами роботи.

Прилади і обладнання: зразок з фторопласту, мідний конденсатор, вимірювач добротності Е4-11.

Теоретичні відомості

Діелектрична проникність і діелектричні втрати є важливими електричними характеристиками діелектричних матеріалів, які використовуються у високочастотних електротехнічних пристроях.

Відносною діелектричною проникністю діелектрика називають відношення заряду конденсатора, виготовленого з даного діелектрика, до заряду конденсатора, електроди якого розділяє вакуум. Діелектричну

проникність виражають відносно абсолютного значення діелектричної проникності вакууму, тобто $\epsilon_0=8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м. З цього виразу випливає, що відносна діелектрична проникність будь-якої речовини завжди більше одиниці і дорівнює одиниці тільки для вакуума. Відносна діелектрична проникність показує, у скільки разів сила взаємодії двох електричних зарядів у даному середовищі менше, ніж у вакуумі. Вона характеризує здатність діелектрика до поляризації і не залежить від вибору системи одиниць.

Діелектричними втратами називають енергію, що розсіюється за одиницю часу в діелектрику під впливом електричного поля і спричиняє нагрівання діелектрика. При перемінній напрузі втрати енергії в діелектриках мають місце внаслідок поляризації, а при постійній напрузі – внаслідок виникнення наскрізного струму. Діелектричні втрати характеризуються кутом діелектричних втрат або тангенсом цього кута.

Для визначення відносної діелектричної проникності (ϵ) і діелектричних втрат ($tg\delta$) в даній роботі використовується резонансний метод. Величини ϵ і $tg\delta$ визначаються через добротність послідовного електричного контура (рис. 7.1), яка вимірюється за допомогою прилада Е4-11.

Вимірювач добротності Е4-11 забезпечує вимірювання добротності (Q) об'єктів індуктивного характеру, а також їх власної ємності і резонансної частоти контуру. Через добротність можна визначити індуктивність вимірюваних об'єктів, ємність, величину тангенса кута втрат конденсаторів. Принцип роботи приладу базується на резонансі напруги в послідовному резонансному контурі. Визначення добротності проводиться за шкалою стрілочного приладу. Величина добротності визначається за максимальним відхиленням стрілки приладу.

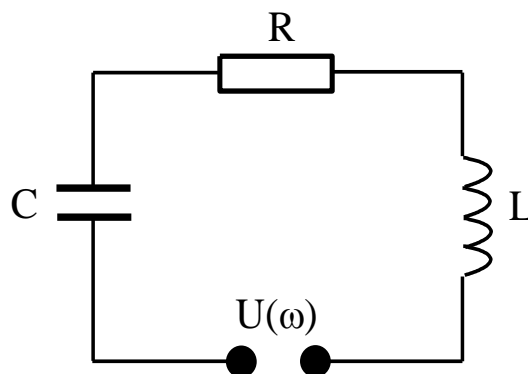


Рис. 7.1. Схема послідовного електричного контура

Добротністю називають характеристику електричного коливального контура, яка показує у скільки разів амплітуда резонансних коливань контура перевищує амплітуду коливань у нерезонансному режимі. Чим вища добротність контура, тим більша амплітуда резонансних коливань і тим менші втрати енергії в контурі.

Резонанс електричного коливального контура полягає у різкому зростанні сили струму або напруги при наближенні частоти струму до резонансної частоти контура (рис. 7.2).

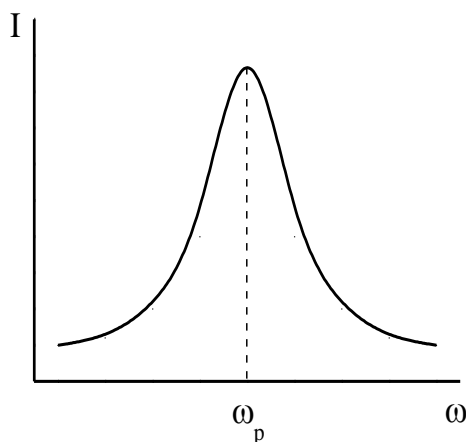


Рис. 7.2. Амплітудно-частотна характеристика коливального контура

Резонансна частота ω_p залежить від активного опору R , ємності C і індуктивності L . Добротність контура визначається за значеннями R , C і L , визначеними при резонансній частоті, за формулою

$$Q = \frac{\omega_p L}{R} = \frac{1}{\omega_p C R}.$$

Порядок виконання роботи

Для досліджень використовується зразок з фторопласту діаметром $D=5$ см і висотою $h=0,4$ см. Він розміщується між пластинами мідного конденсатора.

На приладі Е4-11 встановлюється початкова частота струму, на якій буде працювати внутрішній коливальний контур приладу (орієнтовно 40 МГц). Виконується перше вимірювання добротності цього контура шляхом знаходження його резонансної частоти за рахунок зміни ємності контура. Перемінна ємність знаходиться на приладі. Резонанс фіксується за максимальним відхиленням стрілочки вимірювального приладу. При цьому знімаються покази добротності (Q_1) і ємності (C_1), які заносять у табл. 7.1.

Після цього до приладу підключається додаткова ємність з досліджуваним зразком з фторопласту. Знову знаходиться резонансна частота і знімаються покази добротності (Q_2) і ємності (C_2), які заносять у табл. 7.2.

Аналогічний цикл дослідів проводять на інших частотах, збільшуючи їх кожного разу приблизно на 5 МГц.

Розрахунки відносної діелектричної проникності і діелектричних втрат виконуються за наступними формулами

$$\Delta C = C_2 - C_1;$$

$$\varepsilon = 11,3 \cdot \Delta C \frac{h}{S};$$

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{C_1}{\Delta C} \cdot \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1 Q_2},$$

де S – площа зразка (см^2).

Таблиця 7.1. Результати дослідження електричних властивостей фторопласту

ω , МГц	Q_1	Q_2	C_1 , пФ	C_2 , пФ	ΔC , пФ	ε	$\operatorname{tg} \delta$

За даними табл.7.1. будують графіки залежності $\varepsilon=f(\omega)$ і $\operatorname{tg} \delta=f(\omega)$ і роблять висновки за результатами роботи.

Запитання для самоконтролю

1. Що таке відносна діелектрична проникність і діелектричні втрати?
2. У чому полягає суть резонансного методу визначення цих величин?
3. За якими формулами розраховуються досліджувані величини?
4. Яким чином відносна діелектрична проникність і діелектричні втрати фторопласту залежать від частоти електричного поля?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 8

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМІЧНОЇ ЕРС

Мета роботи – ознайомитися з явищем термічної електрорушійної сили, навчитися вимірювати температуру за допомогою термопар, дослідити залежність термічної електрорушійної сили від температури.

Завдання для виконання роботи

1. Ознайомитись з явищем термічної електрорушійної сили.
2. Ознайомитися з металами і сплавами для термопар.
3. Виконати дослідження впливу температури на термічну електрорушійну силу термопар хромель-копель і зробити висновки за результатами роботи.

Прилади і обладнання: термопара хромель-копель, електропіч, цифровий вольтметр, термометр.

Теоретичні відомості

При контакті двох різних металів між ними виникає *контактна різниця потенціалів*. Причина контактної різниці потенціалів полягає в тому, що різні метали мають різне значення роботи виходу електронів, а, отже, і різний електродний потенціал.

Термічна електрорушійна сила (термо-е.р.с.) зумовлена різницею потенціалів контактуючих металів, а її величина прямо пропорційна різниці електродних потенціалів і температурі контакту.

Контактна різниця потенціалів між двома металами А і В (рис. 8.1) пропорційна різниці температур сплавів T_1 і T_2 . Термоелектрорушійна сила між ними визначається за формулою:

$$\Delta U = k(T_2 - T_1),$$

де коефіцієнт k є постійною для кожної пари металів. Він є тим більшим, чим більшою є різниця роботи виходу електронів для даної пари металів. Якщо ця різниця дорівнює нулю, термо-е.р.с. не виникає. Контактна різниця потенціалів для різних пар металів коливається в межах від мілівольт до декількох вольтів.

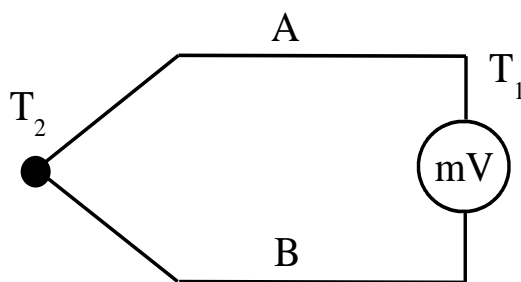


Рис. 8.1. Принципова схема термопарі

Явище термо-*э.р.с.* використовується для вимірювання температури за допомогою термопарі (ДСТУ 2837-94. Перетворювачі термоелектричні. Номінальні статичні характеристики перетворення). Для виготовлення термопар застосовуються мідь, платина і наступні сплави:

- константан (40% Ni, 1,5% Mn, решта – Cu);
- копель (56% Cu і 44% Ni);
- алюмель (95% Ni, інше - Al, Si і Mg);
- хромель (90% Ni і 10% Cr);
- платинородій (90% Pt і 10% Rh);
- вольфрам-реній-1 (95% W, 5% Re);
- вольфрам-реній-2 (80% W, 20% Re).

Сплав молібдену з вольфрамом у парі з чистим вольфрамом можна використовувати для вимірювання температури до 2900°C у інертній атмосфері. Температурний діапазон вимірювання інших термопар наступний:

- вольфрам-реній-1 - вольфрам-реній-2 – 0-2500°C;
- платинородій-платина – 0-1600°C;
- хромель-алюмель - -200-1000°C;
- хромель-константан - -200-700°C;
- хромель-копель - -200-600°C;
- мідь-копель - -200-100°C;
- мідь-константан - -200-400°C;
- залізо-константан- -200-700°C.

Найбільшу термо-*е.р.с.* за рівних інших умов має термопара хромель-копель (0,6 мВ на 10°C), тобто ця термопара є найбільш чутливою до зміни температури.

Порядок виконання роботи

Термопара підключається до мілівольтметра і поміщається у електропіч і поступово нагрівається. При цьому за допомогою вольтметра вимірюється термо-*е.р.с.*, що виникає на термопарі ($U_{експ}$), а також температуру печі (t), що вимірюється термометром. Результати вимірювань заносять у табл.8.1. Враховуючи поправку на кімнатну температуру $U_{нопр}$, визначають результуючу термо-*е.р.с.* $U_{рез}$, яка б виникла на термопарі, якби її перший

контакт знаходився при температурі 0°C , а також коефіцієнт k для термопари хромель-копель

$$U_{рез} = U_{експ} + U_{нопр};$$

$$k = \frac{U_{рез}}{T_2 - T_1}.$$

Для значень $U_{рез}$ за допомогою таблиць ДСТУ 2837-94 знаходять температуру t_{mn} , яку порівнюють з температурою, що вимірювалась термометром.

За даними табл. 8.1. будують графік залежності $U_{рез}=f(t)$.

Таблиця 8.1. Результати дослідження термопар хромель-копель

$U_{експ}$, мВ	$U_{нопр}$, мВ	$U_{рез}$, мВ	t , $^{\circ}\text{C}$	t_{mn} , $^{\circ}\text{C}$	k , мВ/ $^{\circ}\text{C}$

Запитання для самоконтролю

1. Яка природа термічної електрорушійної сили?
2. Яким чином термічна електрорушійна сила залежить від температури?
3. Що таке термопара і для чого вона використовується?
4. Які метали і сплави використовуються для виготовлення термопар?
5. Який діапазон температур дозволяють вимірювати термопари?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 9

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОГО ОПОРУ МЕТАЛІВ

Мета роботи – ознайомитися з методикою визначення питомого електричного опору металів, дослідити залежність питомого електричного опору міді від температури.

Завдання для виконання роботи

1. Ознайомитись з електричними характеристиками провідників.
2. Ознайомитися з методикою визначення питомого електричного опору металів.
3. Виконати дослідження впливу температури на електричний опір міді і зробити висновки за результатами роботи.

Прилади і обладнання: мідний провідник, електропіч, цифровий вольтметр, термометр.

Теоретичні відомості

При збільшенні температури в металевому провіднику амплітуда коливань вузлів кристалічних ґраток збільшується, тому з'являється більше перешкод на шляху спрямованого руху електронів і їх рухливість знижується. Внаслідок цього питомий опір чистих металів з підвищенням температури суттєво зростає.

На рис. 9.1 представлена залежність питомого опору міді від температури в широкому діапазоні зміни останньої. При переході з твердого стану в рідке в більшості металів спостерігається різке збільшення питомого опору. Як видно з рис. 9.1, для міді цей скачок має місце при температурі її плавлення, тобто при 1083°C. Подальше суттєве зростання питомого опору зумовлене посиленням теплового руху атомів металу.

Питомий опір більшості металів при розплавленні збільшується, оскільки їх об'єм при цьому збільшується (а щільність, відповідно, зменшується). Але деякі метали при розплавленні зменшують свій об'єм (наприклад, галій, сурьма, вісмут), тому їх питомий опір при цьому також зменшується.

В діапазоні невисоких температур приймають, що питомий опір залежить від температури лінійно і може бути підрахований за формулою

$$\rho_t = \rho_0(1 + \alpha_\rho \Delta t); \quad (9.1)$$

$$\Delta t = t - t_0,$$

де ρ_0 і ρ_t – значення питомого опору при температурі t_0 і t ; α_ρ –

температурний коефіцієнт питомого опору в даному діапазоні температури Δt . За відомих значень питомого опору провідника, визначених при двох температурах, можна розрахувати коефіцієнт питомого опору

$$\alpha_{\rho} = \frac{\rho_t - \rho_0}{\rho_0 \Delta t} . \quad (9.2)$$

Значення α_{ρ} чистих металів у твердому стані можна визначати за наближеною формулою:

$$\alpha_{\rho} \approx \frac{1}{273} \approx 0,0037 \text{ (град}^{-1}\text{)}.$$

Виключення складають метали, що відносяться до магнетиків: залізо, нікель, кобальт і хром.

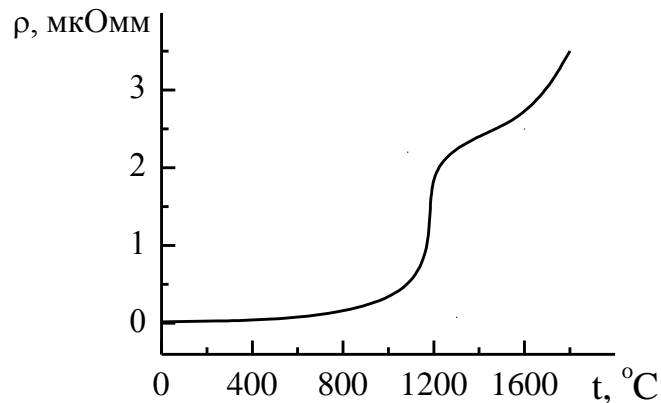


Рис. 9.1. Залежність питомого опору міді від температури

Електричний опір ряду металів і сплавів різко падає при температурах близьких до абсолютного нуля ($-273,16^{\circ}\text{C}$, або 0K), в результаті чого вони переходять у надпровідний стан. **Надпровідністю** називають явище різкого зменшення практично до нуля питомого електричного опору провідників при температурах близьких до абсолютного нуля. Температура, при якій матеріал переходить в надпровідний стан називається температурою надпровідного переходу. Матеріал, що переходить в надпровідний стан стає надпровідником. Срібло, мідь, золото, платину і деякі інші метали у надпровідний стан не переходять.

Явище надпровідності було відкрито у 1911 р. нідерландським фізиком Х. Камерлінг-Оннес при дослідженнях ртуті.

Порядок виконання роботи

Зразок мідного провідника представляє собою катушку індуктивності. Довжина провідника $l=870$ м, а діаметр $d=0,14 \cdot 10^{-3}$ м. Питомий електричний опір зразка розраховують за формулою

$$\rho_i \approx R_i \frac{S}{l}; \quad (9.3)$$

де R_i – електричний опір зразка при температурі t_i ($i=0, 1, 2, \dots, n$); ρ_i – питомий електричний опір зразка при температурі t_i ; S – площа поперечного перерізу провідника; $\Delta t_i = t_i - t_0$. Температурний коефіцієнт питомого опору розраховують за формулою (9.2).

До зразка підключають цифровий вольтметр і вимірюють його опір R_0 при кімнатній температурі t_0 . Результати вимірювань заносять у табл. 9.1. Після цього зразок помішають у піч і повільно нагрівають до температури 80°C , виконуючи вимірювання опору R_i і температури t_i через кожні 20°C . Результати вимірювань також заносять у табл. 9.1.

За результатами вимірювань за формулою (9.1) обчислюють питомий електричний опір міді, а за формулою (9.2) – температурний коефіцієнт питомого опору. Результати обчислень заносять у табл. 9.1. Значення $\alpha_{\rho 0}$ не обчислюється.

Таблиця 9.1. Результати дослідження електричного опору міді

i	$t_i, ^\circ\text{C}$	$R_i, \text{Ом}$	$\rho_i, \text{Ом}\cdot\text{м}$	$\Delta t_i, ^\circ\text{C}$	$\alpha_{\rho_i}, \text{град}^{-1}$
0				-	-
1					
2					

За даними табл. 9.1 будують графік залежності $\rho = f(t)$ і роблять висновки за результатами роботи.

Запитання для самоконтролю

1. Як визначається питомий опір провідників?
2. Яким чином питомий опір провідників залежить від температури?
3. Що характеризує температурний коефіцієнт питомого опору?
4. В чому полягає явище надпровідності?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 10

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОГО ОПОРУ КОНСТАНТАНУ ВІД ПРУЖНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ

Мета роботи – ознайомитися з методом тензометрування, дослідити залежність електричного опору константану від пружної деформації.

Завдання для виконання роботи

1. Ознайомитися з впливом пружної і пластичної деформації на електричний опір провідників.
2. Ознайомитися з методикою дослідження впливу пружної деформації на електричний опір провідників.
3. Виконати дослідження впливу пружної деформації на електричний опір константану і зробити висновки за результатами роботи.

Прилади і обладнання: тензорезистори, консольна балка, система навантажування балки, цифровий вольтметр.

Теоретичні відомості

Пружна і пластична деформація по різному впливають на електричний опір провідників. Пластична деформація (тобто деформація, яка залишається в тілі після його розвантаження), як правило, підвищує питомий опір металів внаслідок спотворення кристалічних ґраток, утворення пор, розрихлення матеріалу. При рекристалізації шляхом термічної обробки (відпал) питомий опір може повернутись майже до початкового значення.

При пружному розтяганні або стиску питомий опір наближено розраховують за формулою:

$$R = R_0(1 \pm \kappa \varepsilon),$$

де R – опір деформованого зразка; R_0 – опір недеформованого зразка; ε – відносна деформація зразка; κ - коефіцієнт тензочутливості. Знак плюс у формулі відповідає деформації розтягу, а знак мінус – стиску. Таким чином, при розтягуванні провідника його електричний опір лінійно зростає, а при стисканні – зменшується (рис. 10.1).

Зміна питомого опору при пружних деформаціях пояснюється зміною амплітуди коливань вузлів кристалічних ґрат металів: при розтягу – збільшенням, при стиску - зменшенням.

Досліджуваний провідник – це сплав міді і нікелю під назвою константан (40% Ni, 1,5% Mn, решта – Cu). Його питомий опір у 28 разів вище, ніж у міді, і практично не залежить від температури (звідси походить його назва).

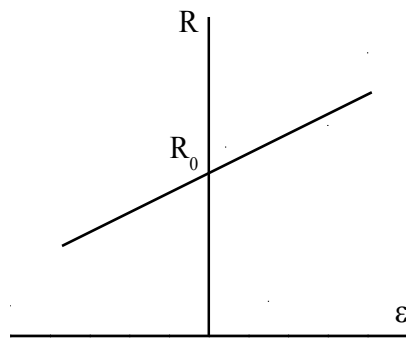


Рис. 10.1. Залежність опору провідника від пружної деформації

Константан у парі з міддю або залізом зумовлює виникнення значної термо-е.р.с. Це є недоліком при використанні константанових резисторів у вимірювальних схемах, оскільки за рахунок різниці температур у місцях контакту константану з міддю виникає небажана термо-е.р.с.

Константан застосовують для виготовлення реостатів і електронагрівальних елементів. Робоча температура сплаву до 450°C (при нагріванні до більш високих температур він інтенсивно окислюється). Константан застосовують також для виготовлення термопар, призначених для вимірювання невисоких температур, а також тензорезисторів.

Тензорезистори це резистори, електричний опір яких залежить від деформації. Тензорезистор складається з паперової або полімерної підкладки, на якій закріплюється фольгова решітка з константану (рис. 10.2).

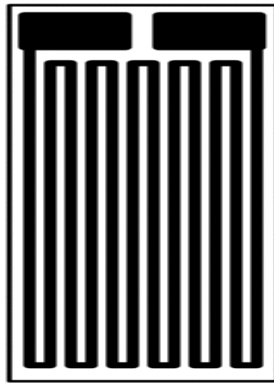


Рис. 10.2 - Тензорезистор

Тензорезистор наклеюють на поверхню елемента конструкції. При деформуванні цього елемента решітка буде стискатись або розтягуватись. В результаті електричний опір тензорезистора змінюватиметься пропорційно його деформації. Таким чином, за зміною електричного опору провідника можна визначити деформацію поверхні елемента конструкції, на якій закріплено тензорезистор. Такий спосіб визначення деформації називають тензометруванням.

Порядок виконання роботи

Експериментальна установка представляє собою консольну балку, що деформується силою P , прикладеною до її вільного кінця (рис. 10.3).

На поверхні балки наклеєно шість тензорезисторів типу КФ5-200А (фольгові, база 5 мм, електричний опір 200 Ом), які з'єднані між собою послідовно. При деформуванні балки силою P тензорезистори зазнають деформації розтягу, при цьому їхній електричний опір збільшується.

Відносна деформація балки визначається за формулою

$$\varepsilon = \frac{6PL_0}{bh^2E},$$

де P – сила, з якою деформується балка; L_0 – довжина балки, b і h – ширина і висота поперечного перерізу балки, E – модуль пружності матеріалу балки. Балка виготовлена з дюралюмінію.

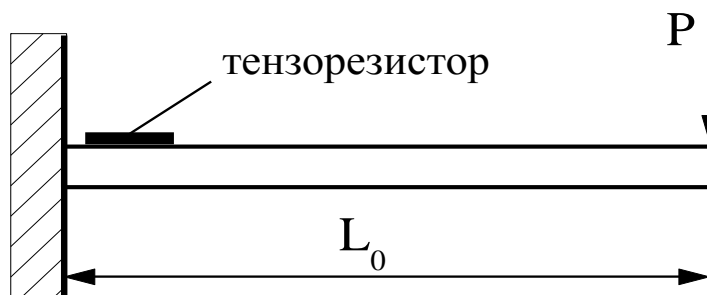


Рис. 10.3 – Експериментальна установка

Спочатку вимірюється електричний опір тензорезисторів, коли балка не деформована (тобто при $P=0$). Потім до кінця балки прикладають силу P різної величини, при цьому за допомогою цифрового вольтметра вимірюють електричний опір тензорезисторів. Результати дослідів і обчислень заносять у табл., де

$$\Delta R = R - R_0;$$

$$\kappa = \frac{\Delta R}{\varepsilon R}.$$

Коефіцієнт тензочутливості для недеформованої балки не визначається.

Таблиця 10.1. Результати дослідження електричного опору константану

P (Н)	R_0 (Ом)	R (Ом)	ΔR (Ом)	ε	κ
0				0	-
2					
4					
6					
8					

За даними табл. 10.1 будується графік залежності $R=f(\varepsilon)$. За результатами дослідження формуються висновки.

Запитання для самоконтролю

1. Що таке константан і які особливості цього сплаву?
2. Де використовується константан?
3. У чому полягає метод тензометрування?
4. Яким чином електричний опір провідників залежить від деформації?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 11

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОГО ОПОРУ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ МАТЕРІАЛІВ

Мета роботи – ознайомитися з типами напівпровідникових терморезисторів, дослідити температурну залежність електричного опору терморезистора типу ММТ-1.

Завдання для виконання роботи

1. Ознайомитися з існуючими типами терморезисторів.
2. Ознайомитися з методикою дослідження впливу температури на електричний опір терморезистора.
3. Виконати дослідження впливу температури на електричний опір терморезистора і зробити висновки за результатами роботи.

Прилади і обладнання: терморезистор типу ММТ-1, електропіч, термометр, цифровий вольтметр.

Теоретичні відомості

Терморезистор – це резистор, опір якого сильно змінюється зі зміною температури. Матеріали, з яких виготовляють терморезистори, повинні мати значний температурний коефіцієнт питомого опору (ТКПО) в широкому діапазоні температур. Найчастіше терморезистори виготовляють з напівпровідникових матеріалів.

Розрізняють терморезистори з негативним ТКПО, опір яких падає із зростанням температури (термістори) і терморезистори з позитивним ТКПО, опір яких збільшується із зростанням температури (позистори). Температурні залежності електричних опорів термістора і позистора наведені на рис. 11.1.

Терморезистори обох типів виготовляють з напівпровідникових матеріалів, діапазон зміни ТКПО яких складає $\alpha_{\rho}=(-0,065\dots+0,7)K^{-1}$.

У 1833 році Фарадей виявив негативний ТКПО у сульфіді срібла Ag_2S . Згодом високий негативний температурний коефіцієнт опору виявили у деяких оксидів металів: Fe_3O_4 , NiO , CoO та ін.

Терморезистори застосовуються у системах протипожежної безпеки, системах вимірювання і регулювання температури, системах теплового контролю, схемах температурної компенсації, вимірювання потужності високочастотного випромінювання. Також терморезистори знаходять застосування в промисловій електроніці та побутовій апаратурі, у медицині, метеорології, у хімічній та інших галузях промисловості.

Найперші пристрої, де застосовувалися терморезистори – це датчики для вимірювання або регулювання температури. Але застосування терморезисторів в якості датчиків температури має і певні недоліки, а саме інерційність (відносно повільна реакція на зміну температури) і нестабільність характеристик у певних умовах.

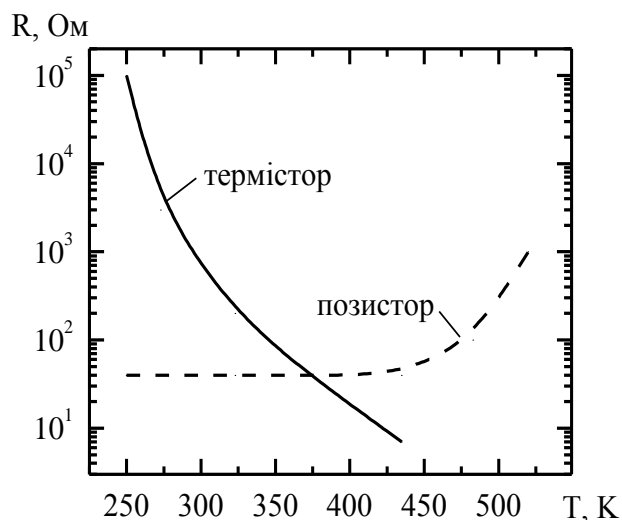


Рис. 11.1. Температурні залежності електричного опору термістора і позистора

Сучасні термістори виготовляють з наступних оксидних систем: нікель-марганець-мідь, нікель-марганець-кобальт-мідь, кобальт-марганець-мідь,

залізо-титан, нікель-літій, кобальт-літій, мідь-марганець. Крім того, практикується додавання таких елементів, як залізо, алюміній, цинк, магній, які дозволяють модифікувати властивості перерахованих систем.

Найбільш поширені терморезистори виготовляють на основі мідно-марганцевих (ММТ і СТ3), кобальт-марганцевих (КМТ і СТ1) і мідно-кобальт-марганцевих (СТ3) оксидних напівпровідників. За конструктивного оформлення терморезистори можна розділити на наступні типи:

- у вигляді циліндричних стрижнів (КМТ-1, ММТ-1, КМТ-4, ММТ-4);
- у вигляді дисків (СТ1-17, СТ3-17, СТ5-1);
- у вигляді мініатюрних намистин діаметром 0,5 мм (СТ1-18, СТ1-19);
- у вигляді плоских прямокутників (СТ3-23).

Температурна залежність опору більшості типів термісторів апроксимується виразом

$$R_T = A \cdot e^{\frac{B}{T}}, \quad (11.1)$$

де R_T - величина опору термістора при температурі T ; A і B – постійні матеріалу. Визначимо їх, написавши формулу (11.1) для R_T для двох температур T_2 і T_1 і розділивши одну на іншу:

$$\frac{R_{T_2}}{R_{T_1}} = e^{\frac{B(T_1 - T_2)}{T_1 T_2}}. \quad (11.2)$$

Логарифмуючи вираз (11.2), отримуємо

$$B = \frac{T_1 T_2}{T_1 - T_2} \ln \frac{R_{T_2}}{R_{T_1}}. \quad (11.3)$$

Розмірність постійної B – градуси Цельсія або Кельвіна. ТКПО термістора визначається за формулою:

$$\alpha_\rho = -\frac{B}{T^2}. \quad (11.4)$$

Порядок виконання роботи

Початкове вимірювання електричного опору терморезистора виконується при кімнатній температурі. Потім він поміщається у піч і повільно нагрівається до температури 80...100 °С. При цьому здійснюється вимірювання температури і електричного опору терморезистора. Результати вимірювань записують у табл. 11.1.

Таблиця 11.1. Результати дослідження електричного опору терморезистора

$R, \text{ Ом}$	$T, \text{ К}$	$B, \text{ К}$	$\alpha_\rho, \text{ К}^{-1}$
		-	-

За результатами вимірювань будують графік залежності $R=f(T)$, а також розраховують значення коефіцієнтів B і α_ρ за формулами (11.3) і (11.4). За результатами дослідження формулюються висновки

Запитання для самоконтролю

1. Що таке терморезистори і де вони використовуються?
2. Чим відрізняються термістори від позисторів?
3. Яким чином електричний опір термістора залежить від температури?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 12

ДОСЛІДЖЕННЯ МАГНІТНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАГНІТОМ'ЯКИХ МАТЕРІАЛІВ

Мета роботи – ознайомитися з магнітними властивостями магнітом'яких матеріалів, дослідити залежність магнітної проникності армко-заліза від напруженості магнітного поля.

Завдання для виконання роботи

1. Ознайомитися з магнітними властивостями магнітом'яких матеріалів.
2. Ознайомитися з методикою дослідження впливу частоти магнітного поля на магнітну проникність і гістерезисні втрати феромагнетика.
3. Виконати дослідження впливу частоти магнітного поля на магнітну проникність і гістерезисні втрати феромагнетика і зробити висновки за результатами роботи.

Прилади і обладнання: вимірювальна установка, звуковий генератор, цифровий вольтметр, осцилограф.

Теоретичні відомості

Найбільш важливими в електротехніці магнітними матеріалами є феромагнітні речовини і феримагнітні хімічні сполуки – ферити.

Явище феромагнетизму пов'язане з утворенням в матеріалах мікрообластей спонтанної намагніченості до насичення, які називають *магнітними доменами*. Характерною властивістю феромагнітних матеріалів є наявність у них мимовільної (спонтанної) намагніченості у відсутності зовнішнього магнітного поля. Напрямки магнітних моментів окремих доменів при відсутності зовнішнього магнітного поля довільні. Під впливом зовнішнього магнітного поля домени орієнтуються вздовж його ліній, багаторазово підсилюючи магнітний потік.

Магнітне насичення – це найбільше можливе для даного матеріалу намагнічування, яке досягається, коли ріст доменів досягає максимуму і їхні магнітні моменти орієнтуються в напрямку поля.

Монокристали феромагнітних речовин характеризуються магнітною анізотропією, тобто ступінь намагнічування уздовж різних осей суттєво відрізняється. Легким напрямком намагнічування для монокристала заліза є ребро куба, а найбільш важким - діагональ; для кристалічної ґратки нікелю напрямком вздовж ребра куба відповідає напрямкові важкого намагнічування.

Процес намагнічування феромагнітного матеріалу під впливом зовнішнього магнітного поля зумовлений ростом доменів, магнітні моменти яких складають найменший кут з напрямком поля, а також поворотом векторів магнітних моментів у напрямку зовнішнього поля.

Одна з найважливіших характеристик магнітних матеріалів, а саме *відносна магнітна проникність*, на практиці визначається як відношення індукції B до напруженості магнітного поля H в даній точці кривої намагнічування:

$$\mu = \frac{B}{\mu_0 H}, \quad (12.1)$$

де μ_0 – магнітна проникність вакуума ($\mu_0 = 1,26 \cdot 10^{-6}$ Тл·м/А).

При зміні напруженості магнітного поля величина індукції магнітного поля також змінюється, але з деяким відставанням за фазою. Залежність між ними має вигляд так званої петлі гістерезису (рис. 12.1).

Зміна знака напруженості магнітного поля викликає перемагнічування матеріалу. Максимальна величина індукції магнітного поля для даного матеріалу B_{max} досягається при його намагнічуванні до насичення. Значення B при $H=0$ у процесі розмагнічування зразка, намагніченого до насичення, називається залишковою індукцією B_r . Для того щоб зменшити індукцію від значення B_r до нуля (тобто розмагнітити матеріал), необхідно прикласти напруженість поля H_c , що називається коерцитивною (або затримуючою) силою.

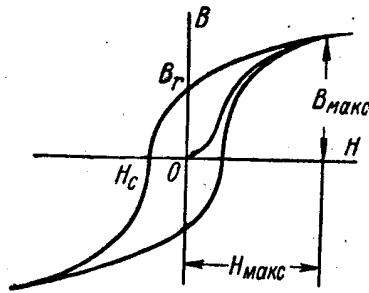


Рис. 12.1. Петля магнітного гістерезису

Матеріали з малим значенням H_c і великою величиною магнітної проникності називаються *магнітом'якими матеріалами*.

Матеріали з великою коерцитивною силою і порівняно малою магнітною проникністю називаються *магнітотвердими матеріалами* (з магнітотвердих матеріалів виготовляються постійні магніти).

Порядок виконання роботи

В ході роботи досліджується петля гістерезису феромагнітного матеріалу (армко-залізо) за допомогою установки, принципова схема якої зображена на рис. 12.2.

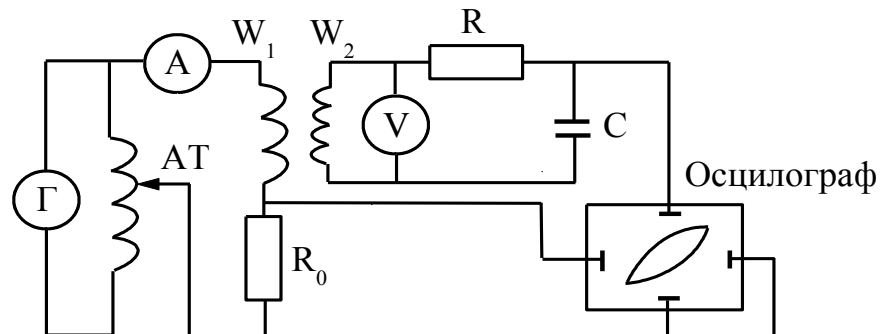


Рис. 12.2. Принципова схема вимірювальної установки

Досліджуванним феромагнетиком є сердечник трансформатора. На входи двоканального осцилографа подається напруга з первинної (W_1) і вторинної (W_2) обмоток трансформатора, частота якої f задається генератором сигналів G . Напруженість магнітного поля і магнітна індукція визначаються за формулами

$$H = \frac{1,414 \cdot I \cdot W_1}{l_{cp}}, \quad (12.2)$$

$$B = \frac{E}{4,44 \cdot f \cdot W_2 \cdot S}, \quad (12.3)$$

де I – сила струму у первинній обмотці (вимірюється амперметром A); f – частота струму (задається генератором сигналів Γ); S – площа поперечного перерізу провідника вторинної обмотки; E – електрорушійна сила у вторинній обмотці (вимірюється вольтметром V); l_{cp} – середня довжина магнітної лінії; W_1 і W_2 – кількість витків на первинній і вторинній обмотці, відповідно.

Гістерезисні втрати енергії у феромагнетику визначаються за формулою

$$P = k \cdot S_{nm} f \cdot V, \quad (12.4)$$

де k – масштабний коефіцієнт; S_{nm} – площа петлі гістерезису; V – об'єм феромагнетика.

Порядок виконання роботи полягає у наступному. За заданої частоти струму f вимірюється сила струму у первинній обмотці I і електрорушійна сила у вторинній обмотці E , а також площу петлі гістерезису S_{nm} . Результати вимірювань заносять у табл. 12.1. Аналогічні досліди виконують при інших значеннях частоти струму f .

За формулами (12.2) і (12.3) розраховують напруженість магнітного поля H і магнітну індукцію B , за формулою (12.1) – відносну магнітну проникність μ , а за формулою (12.4) – гістерезисні втрати енергії P . Результати розрахунків також заносять у табл. 12.1.

Кількість витків на первинній і вторинній обмотці $W_1=100$, $W_2=500$. Середня довжина магнітної лінії $l_{cp}=0,1$ м.

Таблиця 12.1. Результати дослідження магнітних властивостей армко-заліза

f , Гц	I , А	E , В	H , А/м	B , Тл	μ	P , Вт

За даними табл. 12.1 будують графіки залежності $\mu=f(f)$ і $P=f(f)$. За результатами дослідження формулюють висновки.

Запитання для самоконтролю

1. Яка фізична природа магнетизму?
2. Чим відрізняються магнітом'які і магнітотверді матеріали?
3. Що таке залишкова індукція і коерцитивна сила
4. Що таке втрати енергії на магнітний гістерезис?
5. Яким чином магнітна проникність і гістерезисні втрати армко-заліза залежать від частоти магнітного поля?

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Колесов, С. М. Електроматеріалознавство (електротехнічні матеріали): Підручник для вузів / С. М. Колесов, І. С. Колесов. - К. : Дельта, 2008. - 516 с.
2. Технологія конструкційних матеріалів: Підруч. / М.А. Сологуб, І.О. Рожнецький, О.І. Некоз та ін.; за ред. М.А. Сологуба. – 2-ге вид., перероб. і допов. – К.: Вища шк., 2002. — 374 с.
3. Бовсуновський, А.П. Електротехнічні матеріали: Консп. лекцій для студентів спеціальності 6.090600 “Електротехнічні системи електроспоживання” денної та заочної форм навчання / Бовсуновський А.П. – К. НУХТ, 2007. – 103 с.
4. Бовсуновський А.П. Електротехнічні матеріали: Корот. довідник / Бовсуновський А.П. – К.: НУХТ, 2012. – 36 с.

ЗМІСТ

Лабораторна робота 1. Дослідження механічних властивостей металів	3
Лабораторна робота 2. Дослідження впливу пластичної деформації і рекристалізації на структуру металів	5
Лабораторна робота 3. Дослідження впливу пластичної деформації і рекристалізації на механічні властивості металів	8
Лабораторна робота 4. Дослідження впливу режиму термічної обробки на механічні властивості сталі	10
Лабораторна робота 5. Дослідження теплостійкості твердих полімерних матеріалів (діелектриків)	13
Лабораторна робота 6. Дослідження холоднотекучості твердих полімерних матеріалів	16
Лабораторна робота 7. Дослідження частотної залежності діелектричної проникності та діелектричних втрат діелектриків	18
Лабораторна робота 8. Дослідження термічної ЄРС	22
Лабораторна робота 9. Дослідження температурної залежності електричного опору металів	25
Лабораторна робота 10. Дослідження залежності електричного опору константану від пружної деформації	28
Лабораторна робота 11. Дослідження температурної залежності електричного опору напівпровідникових матеріалів	31
Лабораторна робота 12. Дослідження магнітних властивостей магнітом'яких матеріалів	34
Рекомендована література	38