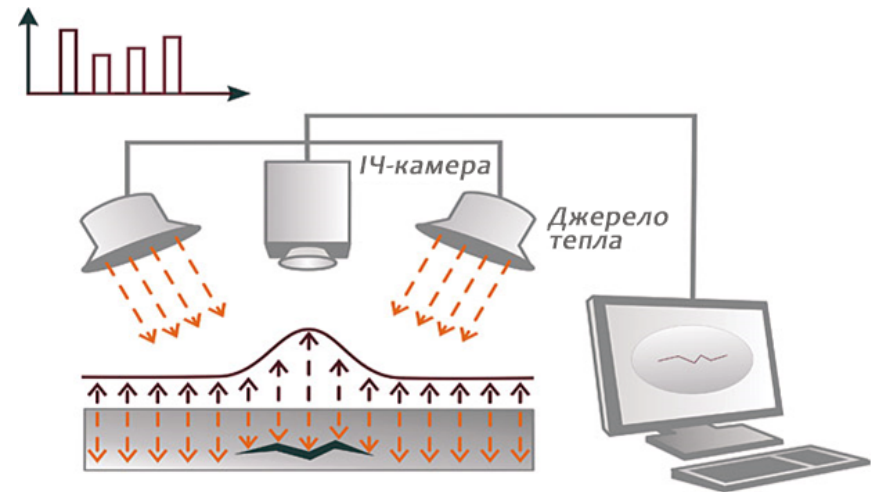


В. І. Савуляк, Д. В. Бакалець, О. В. Поступайло

## ДІАГНОСТИКА МАТЕРІАЛІВ, КОНСТРУКЦІЙ ТА ЯКОСТІ ПОКРИТТІВ



Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет

**В. І. Савуляк, Д. В. Бакалець, О. В. Поступайло**

**ДІАГНОСТИКА МАТЕРІАЛІВ, КОНСТРУКЦІЙ  
ТА ЯКОСТІ ПОКРИТТІВ**

**Лабораторний практикум**

Вінниця  
ВНТУ  
2018

УДК 621(075)

С13

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 12 від 30 березня 2017 р.)

Рецензенти:

**І. П. Паламарчук**, доктор технічних наук, професор

**Л. Г. Козлов**, доктор технічних наук, професор

**О. П. Шиліна**, кандидат технічних наук, доцент

**Савуляк, В. І.**

С13      Діагностика матеріалів, конструкцій та якості покриттів : лабораторний практикум / Савуляк В. І., Бакалець Д. В, Поступайло О. В. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 77 с.

У лабораторному практикумі наведено теоретичні відомості до лабораторних робіт, які застосовуються під час діагностики матеріалів, конструкцій та якості покриттів. Наведено порядок та організація виконання, контрольні питання, правила оформлення, зміст та порядок захисту лабораторних робіт з дисципліни «Діагностика матеріалів, конструкцій та якості покриттів».

УДК 621(075)

## ЗМІСТ

<i>Лабораторна робота № 1</i> Виявлення дефектів методом капілярної дефектоскопії.....	4
<i>Лабораторна робота № 2</i> Магнітопорошковий метод контролю .....	10
<i>Лабораторна робота № 3</i> Струмовихровий метод контролю.....	20
<i>Лабораторна робота № 4</i> Апаратура для ультразвукового контролю .....	28
<i>Лабораторна робота № 5</i> Вимірювання товщини виробів із застосуванням ультразвукових методів контролю .....	37
<i>Лабораторна робота № 6</i> Відпрацювання технології ультразвукового контролю зварних з'єднань.....	43
<i>Лабораторна робота № 7</i> Контроль структури матеріалів із застосуванням ультразвукових методів.....	53
<i>Лабораторна робота № 8</i> Електропотенціальний метод контролю деталей .....	59
<i>Лабораторна робота № 9</i> Контроль деталей методом рентгенівської дефектоскопії .....	61
Перелік скорочень.....	71
Словник найуживаніших термінів .....	72
Література.....	73
Додаток А.....	74
Додаток Б .....	75
Додаток В .....	76

## ВИЯВЛЕННЯ ДЕФЕКТІВ МЕТОДОМ КАПІЛЯРНОЇ ДЕФЕКТОСКОПІЇ

**Мета роботи:** навчитися застосовувати капілярні методи контролю для виявлення несущільностей типу тріщин.

### 1.1 Загальні відомості

Капілярні методи контролю призначені для виявлення поверхневих і наскрізних дефектів в об'єктах контролю, визначення їхнього розташування, протяжності й орієнтації. Капілярні методи дозволяють контролювати об'єкти будь-яких форм і розмірів, виготовлених з чорних, кольорових металів й інших матеріалів. З цих методів найбільш поширені кольорова, люмінесцентна і люмінесцентно-кольорова дефектоскопії. Усі вони базуються на капілярних явищах і припускають контроль як в процесі виготовлення деталей, так і під час їхньої експлуатації та відновлення.

Дефекти типу тріщин мають малу ширину і велику, порівняно з шириною, глибину, що робить їх подібними до капілярів, які мають своєрідну властивість «всмоктувати» рідини, що змочують матеріал контрольованої деталі.

При виконанні контролю вказаним методом на деталь наносять спеціальну кольорово-контрастну рідину (*пенітрант*), яка під дією капілярних сил заповнює порожнини поверхневих дефектів. Після цього з контрольованої поверхні залишки пенітранту видаляють. Для витягу пенітранту з порожнин дефектів на поверхню деталі наносять проявник. Останній, завдяки високій поглинальній здатності, всмоктує пенітрант, унаслідок чого на поверхні, яку контролюють, утворюється індикаторний малюнок. Проявник також створює фон, що поліпшує видимість індикаторного малюнка.

Індикаторний малюнок набагато ширше границь дефекту і має яскравий колірний контраст, що полегшує визначення місця його розташування, та форму.

Методи капілярної дефектоскопії відрізняються способом отримання та характером індикаторного малюнка й оптичними засобами, що забезпечують його візуальний контроль.

При *кольоровій дефектоскопії* індикатором слугує проникаюча рідина, що утворює червоний індикаторний малюнок на білому фоні проявника. Деталі оглядають при звичайному освітленні.

При *люмінесцентній дефектоскопії* використовують пенітранти, що виявляють люмінесцентні властивості під впливом ультрафіолетових променів.

*Люмінесцентно-кольорова* дефектоскопія містить елементи люмінесцентної і кольорової дефектоскопії. У такому разі застосовується пенітрант, що здатний не тільки проявляти люмінесцентні властивості в ультрафіолетових променях, але й має видимий при звичайному освітленні колір. Огляд деталей можна робити як при звичайному освітленні, так і в ультрафіолетових променях.

Забруднення і різного роду покриття перешкоджають виявленню дефектів, тому поверхня деталі й порожнини дефектів перед контролем мають бути ретельно очищені. Відповідна підготовка поверхонь деталей має проводитись з урахуванням попередніх технологічних операцій, що можуть викликати забруднення порожнин дефекту. Рідини (бензин, гас, органічні розчинники, вода і т. д.), що потрапили в порожнини тріщин, перешкоджають проникненню в них індикаторних рідин і тим самим знижують інтенсивність фарбування чи люмінесценцію малюнка дефекту. Треба враховувати і вплив покриттів (гальванічних, лакофарбових, окисних і т. д.), що знижують ефективність капілярних методів контролю. Тому під час вибору способу підготовки деталей до контролю необхідно враховувати характер забруднення, вид покриття, вид обробки поверхні й природу матеріалу.

Існують такі способи очищення виробів перед контролем: паровий, механічний, хімічний, електрохімічний, сушіння, промивання водою, органічними розчинниками із застосуванням ультразвуку або вакууму чи без них.

Заповнення порожнин дефектів індикаторною рідиною може бути проведене такими способами: капілярним, капілярним з попереднім підігрівом проникаючої рідини, вакуумним, компресійним, ультразвуковим.

Найбільш простими способами є капілярний і капілярний з попереднім підігрівом рідини. Їхня суть полягає в тому, що заповнення тріщини відбувається під дією капілярних сил. Підігрів індикаторної рідини застосовується для зниження її в'язкості. Вакуумний і компресійний способи забезпечують більш повне заповнення порожнини тріщини і прискорюють процес просочення.

Ультразвуковий спосіб заповнення дефектів пенітрантом одночасно дозволяє очистити їх від забруднення.

Видалення пенітранту з поверхні деталей потрібно проводити так, щоб він зберігся в порожнинах тріщин у якомога більшій кількості. Способи видалення проникаючої рідини можуть бути різні залежно від властивостей самої рідини, шорсткості поверхонь деталей, умов контролю, необхідної продуктивності і т. д. Це може бути протирання ганчіркою, промивання водою чи розчинниками, обдування тощо. Найбільш розповсюдженим є комбінований спосіб – промивання з подальшим протиранням ганчіркою або сушінням.

Для вилучення пенітранту, що залишився в порожнині дефекту, і створення фону для виявлення самого дефекту відразу ж після видалення пені-

транту наносять проявник. Способи нанесення проявника вибирають залежно від необхідної чутливості контролю, продуктивності, від умов контролю, складності форми деталей. Проявник можна наносити щіткою, розпиленням повітряної суспензії, зануренням, посипанням і т. д.

Після нанесення проявника деталь витримують певний час (до закінчення процесу проявлення) при температурі навколишнього середовища для утворення індикаторного малюнка. Витримка при проявленні може також проводитися за умов теплового, вакуумного, вібраційного чи іншого впливу на деталі.

Огляд деталей проводять або при звичайному освітленні, або в ультрафіолетових променях залежно від застосованого пенітранту. Аналіз виявленого індикаторного малюнка дефекту можна проводити візуально і за допомогою оптичних засобів.

За характерними ознаками вказаного рисунка визначають тип дефекта. Наприклад, тріщини мають вид чітких суцільних або переривчастих ліній різної конфігурації (рис. 1.1), міжкристалічна корозія виявляється у вигляді плям або розмитих смуг, пори – у вигляді окремих крапок.

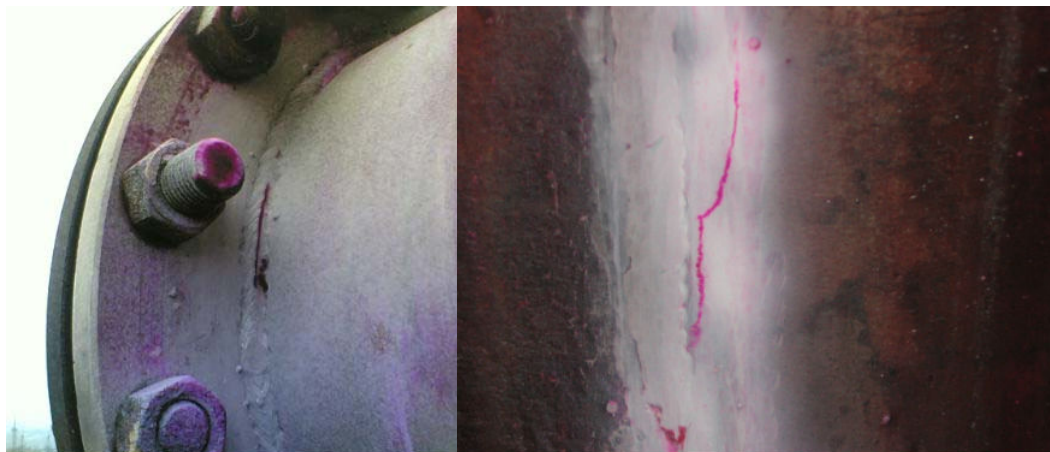


Рисунок 1.1 – Дефекти, виявлені кольоровим методом

Крім дійсних дефектів, індикаторний малюнок може з'являтися на уявних дефектах – подряпинах, забоїнах, забрудненнях поверхні. За особливими ознаками можна розрізнити уявні та дійсні дефекти.

Із деталей, визнаних придатними, мають бути вилучені проявник й інші матеріали, що застосовувались для дефектоскопії. Вибираючи спосіб вилучення враховують характер застосованих матеріалів, умови контролю, інтенсивність технологічного процесу тощо.

Для видалення проявника використовують протирання, промивання, обдування, хімічну обробку, випалювання.

Під чутливістю капілярної дефектоскопії розуміють розмір мінімального за величиною (шириною і глибиною порожнини в поперечному перерізі) дефекту, що виявляється таким методом. Чутливість залежить від якості проведення кожної технологічної операції контролю, застосованих

матеріалів, освітлення, температури навколишнього середовища тощо. Вважають, що чутливість люмінесцентного методу становить за шириною 10 мкм і глибиною 30–40 мкм, кольорового – за шириною 1–2 мкм і глибиною 10–30 мкм.

Крім вказаної високої чутливості, до переваг цих методів варто віднести надійність контролю, можливість точно встановити місце дефекту, його ширину, довжину, можливість контролю деталей різних за формою, велику різноманітність матеріалів, що піддаються контролю, низьку вартість використання матеріалів.

До недоліків методів капілярної дефектоскопії належать: великий відсоток ручної праці, необхідність ретельного очищення деталей перед контролем, складність механізації й автоматизації процесу контролю, громіздкість стаціонарного устаткування, токсичність деяких дефектоскопічних матеріалів і обмежений термін їхнього зберігання, залежність результатів контролю від кваліфікації контролера.

Для проведення контролю за допомогою капілярної дефектоскопії на підприємствах використовують або звичайне устаткування (ванни, сушильні шафи, столи, розпилувачі тощо), або спеціальне устаткування, пристосоване до конкретного виробництва.

Спеціальне устаткування розділяють на переносне, пересувне і стаціонарне. Переносне і пересувне устаткування призначене для контролю деталей у польових умовах, на ремонтних підприємствах, за необхідності контролю невеликих ділянок без розбирання контрольованого вузла. Стаціонарне устаткування використовується під час масового контролю деталей на ділянках капілярної дефектоскопії. До комплектів переносних і пересувних дефектоскопів входять металеві флакони з дефектоскопічними матеріалами (рідинами, фарбами, розчинниками), переносні лампи, фарборозпилувачі, щітки, лупи та контрольні зразки.

У цехових, польових і лабораторних умовах при температурі від –30 до +50°C. може застосовуватися переносний комплект у вигляді валізи “Експерт-2”.

Для виявлення поверхневих дефектів з шириною розкриття більше 10 мкм зручний комплект “ИФХ-КОЛОР-4”. На відміну від матеріалів розроблених на основі легколетких розчинників, що робить їх пожежонебезпечними і шкідливими для здоров’я дефектоскопістів, у комплект “ИФХ-КОЛОР-4” входять пенітрант і проявник повністю пожежобезпечні і нетоксичні. Ці матеріали легко можна змити водою, що дозволяє виявляти дефекти на грубих поверхнях. За допомогою названого комплекту можливо виявити тріщини з шириною розкриття від 10 мкм. Набір “ИФХ-КОЛОР-4” можна застосовувати для контролю деталей, виготовлених зі сплавів чорних і кольорових металів та неметалевих матеріалів (кераміка, композити). Такий набір постачається в аерозольних упаковках, об’ємом від 0,5 л.

Стаціонарні установки містять пристрої для нанесення проникаючої рідини, видалення рідини, промивання, сушіння, нанесення порошку і



огляду деталей в ультрафіолетовому світлі. Транспортування деталей від однієї операції до іншої може бути механізоване (люмінесцентний дефектоскоп ЛДП-3). Існують автоматизовані установки для люмінесцентної і кольорової дефектоскопії, у яких автоматизовано усі технологічні операції, за винятком візуального огляду, що проводить оператор.

Огляд деталей під час люмінесцентної і люмінесцентно-кольорової дефектоскопії проводиться при ультрафіолетовому освітленні. Як джерело ультрафіолетових променів застосовують газорозрядні ртутні лампи високого і надвисокого тиску. Усі ці лампи, крім ультрафіолетових, випромінюють видимі й інфрачервоні промені. Для виділення ультрафіолетових променів застосовують світлофільтри.

Останнім часом випускаються промисловістю лампи для люмінесцентної дефектоскопії, що не потребують застосування світло-фільтрів.

## **1.2 Матеріали і устаткування**

Зразки і деталі з дефектами. Набір для кольорової дефектоскопії SPOTCHECK SK3-S Kit. Люмінесцентний пенетрант ZL 19.

## **1.3 Порядок виконання лабораторної роботи**

1. На деталях виявити найбільш імовірні місця утворення тріщин.
2. Очистити поверхні досліджуваного виробу від забруднень.
3. Нанести люмінесцентний пенетрант ZL 19 на випробний виріб шляхом розпилення на поверхні, що контролюються.
4. Видалити зайву люмінесцентну речовину з поверхні виробу.
5. Провести огляд виробу в ультрафіолетовому світлі із зазначенням розміщення та розмірів передбачуваних дефектів.
6. Помити поверхні досліджуваного виробу від забруднень очисником SKC-S із набору для кольорової дефектоскопії SPOTCHECK SK3-S Kit, після чого витерти серветкою та висушити.
7. Нанести пенетрант SKL-SP1 червоного кольору на поверхні, що контролюються, зачекати 10–15 хв.
8. Видалити надлишок пенетранта з контрольованої поверхні протиранням серветкою, промиванням водою, або тим же очищувачем, що і на стадії попереднього очищення.
9. Відразу ж після очистки на поверхню контролю тонким рівним шаром нанести проявник SKD-S2білого кольору.
10. Через 10 хв після нанесення проявника провести фіксацію і вимірювання всіх індикацій, що проявилися на об'єкті контролю.

## 1.4 Зміст звіту

Показати актуальність упровадження капілярного методу контролю. Описати основні теоретичні положення відповідно до завдання та технології проведення контролю. Пояснити, унаслідок чого можуть виникати дефекти в зразках та виробих і чому метод капілярної дефектоскопії полегшує виявлення дефектів. Накреслити ескізи контрольованих деталей з нанесенням розмірів визначених дефектів для обох способів контролю. Зробити висновки щодо отриманих результатів, у яких порівняти розміри індикаторного рисунка, отриманого під час виконання обох методів контролю, зробити висновок про чутливість методів.

## 1.5 Контрольні запитання

1. Типи дефектів, для виявлення яких доцільно застосовувати капілярні методи.
2. Типи капілярних методів.
3. Вимоги до хімічних реактивів, що застосовуються в капілярних методах.
4. Апаратура, що застосовується для проведення контролю капілярними методами.
5. Технологія виявлення дефектів капілярними методами.
6. Якими способами можна підвищити достовірність результатів контролю деталей капілярним методом?
7. Як відрізнити реальні дефекти від уявних (несправжніх)?
8. Суть фізичних процесів, що відбуваються під час контролю капілярними методами.
9. Фізика взаємодії рідин з твердими речовинами та капілярні явища.
10. Фізичні аспекти впливу освітлення та кольору на чутливість методів контролю із застосуванням людського ока як чутливого елемента.
11. Вплив технологічних факторів на достовірність результатів капілярного контролю.

Рекомендована література: [1, 4, 6].

## МАГНІТОПОРОШКОВИЙ МЕТОД КОНТРОЛЮ

**Мета роботи:** навчитися застосовувати магнітопорошковий метод контролю для виявлення дефектів.

### 2.1 Загальні положення

Руйнування в деталях у багатьох випадках розпочинаються з поверхні. Тому працездатність деталей машин, їх якість і довговічність переважно визначаються станом поверхні і наявністю дефектів у зовнішніх шарах матеріалу. Особливо небезпечні поверхневі дефекти типу тріщин, що можуть утворюватись під час термічної, хіміко-термічної, механічної обробок і в процесі експлуатації виробів.

Для виявлення вказаних дефектів широке поширення набув магнітопорошковий метод. Він може використовуватись для виявлення дефектів типу тріщин як тих, що виходять на поверхню, так і розташованих на невеликій глибині під поверхнею (до 2 мм) на деталях з феромагнітних матеріалів.

Переваги цього методу – висока чутливість, наочність, можливість контролю деталей різноманітної форми і на будь-якій стадії обробки, простота контролю і порівняно висока продуктивність.

Магнітопорошковий метод базується на виявленні магнітних полів розсіювання над дефектами за допомогою магнітних частинок (рис. 2.1).

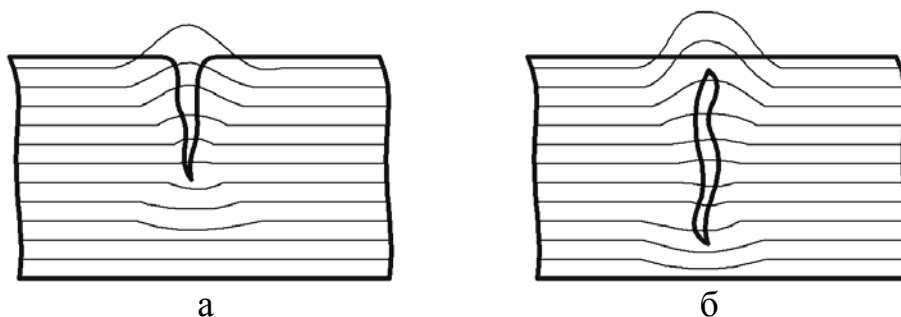


Рисунок 2.1 – Поля розсіювання, зумовлені поверхневим (а) і підповерхневим (б) дефектами

Контроль складається з двох основних етапів: намагнічування матеріалу і нанесення магнітних частинок.

Під час намагнічування зразків або виробів у місцях з поверхневими дефектами виникають пари магнітних полюсів, що діють подібно маленьким магнітам, які утримують на поверхні магнітний порошок. У результаті утворюється видиме зображення дефекту, яке показує розташування і довжину дефекту. Ширина смужки з осілого порошку значно більше ширини,

тріщини, волосовини, тому магнітопорошковим методом можуть бути виявлені дрібні дефекти, які невидимі під час візуального контролю.

На характер і величину поля розсіювання над дефектом впливають змінні фактори: напруженість магнітного поля; магнітні властивості матеріалу; розмір і форма контрольованої деталі; форма, місце розташування і орієнтація дефекту в деталі. Найбільш чітко дефекти виявляються в тому випадку, коли напрямок магнітних ліній у виробі перпендикулярний напрямку дефектів.

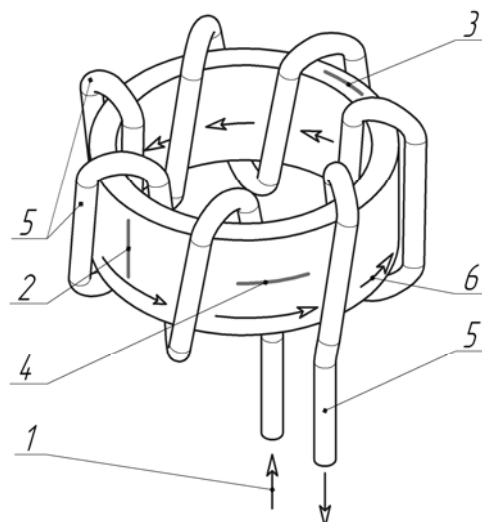
Чутливість магнітопорошкового методу залежить від багатьох факторів, зокрема: від значення характеристик поля, що намагнічує; властивостей матеріалу; якості магнітних порошоків і суспензій; від способу намагнічування; якості підготовки поверхні деталі, яку контролюють; освітленості робочого місця і т. ін. Реально магнітопорошковий метод дозволяє виявляти несутцільності із шириною розкриття 0,001 мм, глибиною 0,01 мм і більше.

Для виявлення дефектів, орієнтованих у різних напрямках, застосовують різні способи намагнічування: циркулярне, поздовжнє, комбіноване.

Відомі різні способи одержання циркулярного поля. Наприклад, пропусканням струму через стрижень або гнучкий кабель з високою електропровідністю (з міді, латуні, алюмінію), проведений через отвір у деталі із порожниною (кільце, циліндр, гільза).

Контроль внутрішніх поверхонь деталей проводять тільки цим способом.

Другий спосіб застосовують для намагнічування порожнистих деталей більшого внутрішнього діаметра. У цьому випадку струм пропускають, через обмотку, навиту на деталь у виді тороїда (рис. 2.2).



- 1 – напрямок струму; 2 – тріщина уздовж твірної (виявляється);  
3 – радіальна тріщина на торці (виявляється);  
4 – кільцева тріщина (не виявляється); 5 – тороїд; 6 – магнітні силові лінії

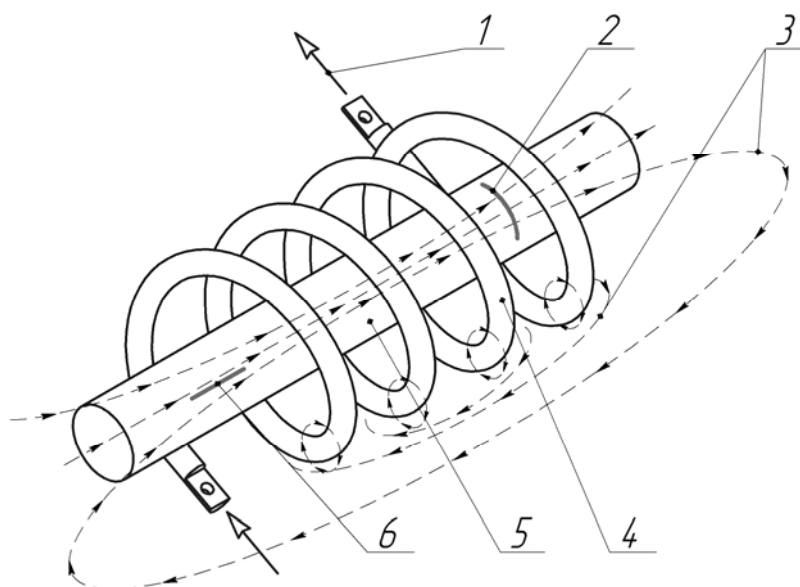
Рисунок 2.2 – Схема намагнічування виробів за допомогою тороїдної обмотки

Циркулярне намагнічування деталей забезпечує виявлення дефектів, розташованих паралельно або під кутом до напрямку струму (крім кутів, близьких до  $90^\circ$ ).

Поздовжнє намагнічування застосовують для виявлення поперечних дефектів. Воно здійснюється за допомогою електромагніта (стаціонарного або переносного) чи пропусканням струму через обмотку, навиту на деталь у вигляді соленоїда (рис. 2.3).

Поздовжнє намагнічування застосовують у випадках, якщо форма деталі ускладнює її циркулярне намагнічування.

Довгі деталі намагнічують одразу по всій довжині шляхом просування їх крізь соленоїд постійного струму. У соленоїдах змінного струму довгі деталі намагнічують по одній. Короткі деталі намагнічують одночасно по декілька штук, укладаючи їх ланцюжком.



- 1 – напрямок струму; 2 – поперечна тріщина (виявляється);  
3 – магнітні силові лінії; 4 – соленоїд; 5 – тріщина під кутом  $45^\circ$  (виявляється);  
6 – поздовжня тріщина (не виявляється)

Рисунок 2.3 – Схема поздовжнього намагнічування для виявлення поперечних дефектів

Комбіноване намагнічування здійснюють одночасним впливом на контрольовану ділянку деталі двох взаємно перпендикулярних змінних магнітних полів, зсунутих по фазі на  $90^\circ$  (обертове поле), або впливом одного змінного та одного постійного поля (гвинтове поле). При цьому одне з магнітних полів може бути циркулярним, а друге – поздовжнім. Для вказаного способу намагнічування контроль деталей необхідно здійснювати в прикладеному полі.

Перевагою комбінованого намагнічування є можливість одночасного виявлення дефектів як поздовжнього, так і поперечного напрямку, тобто практично всіх дефектів. При цьому зростають продуктивність і надійність такого методу контролю.

Магнітопорошковий контроль проводиться або способом прикладеного магнітного поля, або за залишковою намагніченістю. Під час перевірки деталей по залишковій намагніченості технологія контролю складається з таких операцій: підготовка деталей до контролю, намагнічування, нанесення суспензії, огляд, розшифровка результатів контролю і визначення відповідності до технічних умов, розмагнічування і контроль розмагніченості.

Контроль за залишковою намагніченістю може здійснюватися тільки для деталей, виготовлених із магнітотвердих матеріалів з високою залишковою намагніченістю. Цей спосіб контролю має такі переваги перед способом прикладеного поля:

- зручність під час огляду деталі, так як її можна розташувати в будь-якому положенні й оглядати неозброєним оком, або із застосуванням оптичних пристроїв;
- простота розшифрування результатів контролю, тому що на залишкову намагніченість мало впливають такі фактори, як: наклеп, структурна неоднорідність і т. ін.;
- можливість нанесення суспензії (поливом чи зануренням) одночасно на велику кількість деталей; зменшення перегріву в місцях контактів деталі зі струмопровідником, оскільки для намагнічування витрачається мало часу.

Під час перевірки способом прикладеного магнітного поля намагнічування, нанесення суспензії й основну частину огляду роблять одночасно.

Контроль способом прикладеного поля проводять у таких випадках: деталь виконана з магнітом'якого матеріалу або має складну форму; необхідно контролювати дефекти, розташовані під поверхнею на глибині від 0,01 мм, або дефекти знаходяться під шаром немагнітного покриття товщиною більше 30–500 мкм; коли потужність дефектоскопа не дозволяє одержувати необхідну напруженість магнітного поля; за необхідності контролювати великогабаритні деталі за допомогою приставних електромагнітів або переносних електроконтактів.

**Способи виявлення дефектів.** Для виявлення дефектів намагнічену деталь необхідно обробити магнітним порошком. Існує декілька способів нанесення сухого порошку або суспензій на контрольований виріб: посищення, поливання, занурення у ванну.

Поливання застосовують як для контролю за залишковою намагніченістю, так і в накладеному полі.

Сухий порошок наносять на поверхню деталі у вигляді повітряної суспензії розпиленням порошку в спеціальних установках, або вручну за допомогою груші чи сита.

Для виявлення дефектів на деталях зі світлою поверхнею за допомогою магнітної дефектоскопії застосовується спеціальний чорний магнітний порошок. Для деталей з темною поверхнею застосовують порошки, які мають люмінесцентний ефект під впливом ультрафіолетового опромінення. Крім

порошків, можна користуватися пастами. Пасту випускаються у вигляді водяної, масляної і газової суспензій.

Магнітно-люмінесцентна суспензія готується на водяній основі або на будь-якій олії, що не світиться в ультрафіолетовому світлі.

Газово-масляну суспензію готують із суміші трансформаторної оливи (марок МК або МС) з гасом у пропорції 50:50 і чорного магнітного порошку.

При контролі в прикладеному полі кількість чорного магнітного порошку в суспензії може бути знижена до 5–10 г/л.

Огляд деталей здійснюють одразу після витягування їх з ванни, якщо застосовувалася водяна чи газова суспензія, або через 1 хв у разі застосування масляної суспензії.

При контролі в прикладеному полі огляд здійснюють під час і після нанесення суспензії.

При застосуванні чорних порошків і паст деталі оглядають під лампами денного світла з розсіяним випромінюванням. Для магнітнолюмінесцентного контролю застосовують ультрафіолетові лампи. Освітленість деталі при огляді під лампами денного світла має бути не менше 500 люкс, при огляді під ультрафіолетовими лампами – не менше 1000 люкс.

**Оцінка результатів контролю.** Осадження магнітного порошку може відбуватися як у місцях порушення суцільності, так і на несправжніх дефектах. Характер відкладення порошку дозволяє якісно, а іноді і напівкількісно оцінити глибину дефекту.

*Гартівні тріщини* виявляються дуже чітко, мають характерний щільний валик магнітного порошку. Малюнок тріщин – це ламані лінії різного напрямку, частіше в напрямку рисок механічного оброблення і в місцях різких переходів перетинів.

*Тріщинивтоми* виявляються у вигляді чітких ліній. Розташовані вони в основному в місцях концентрації напружень. Концентраторами напружень можуть бути подряпини, надрізи, гартівні тріщини, риси від різця чи напилка, місця різкої зміни перетину деталі. Розвивається тріщина втоми від поверхні і поширюється у глиб виробу.

*Шліфувальні тріщини* мають вигляд тонких чітких ліній у вигляді сітки або окремих рисок, розташованих поперек напрямку шліфування.

*Волосовими* виявляються у вигляді рисок, ліній, витягнутих у напрямку прокатки. Для виявлення волосовин на більш ранній стадії обробки необхідно проводити контроль у прикладеному полі. Це пов'язано з тим, що інтенсивність відкладення магнітного порошку на волосовинах залежить від глибини волосовини, розташування її щодо поверхні виробу і наявності знеуглецьованого шару на гранях волосовини. Якщо грані волосовини мають вид складок або кромки їх знеуглецьовані, то залишкова намагніченість у поверхневому шарі відносно мала і відповідно відкладення магнітного порошку слабке. Тому проводити контроль у прикладеному полі доцільніше, ніж за його відсутності навіть під час контролю загартованих магнітотвердих матеріалів.

*Закати* виявляються у вигляді хвилястих ліній (іноді розташованих паралельно одна одній). Закати, так само як і волосовини, в основному виявляються у прикладеному полі.

*Неметалеві включення* проявляються у вигляді розташованих ланцюжком або окремими точковими скупченнями магнітного порошку.

Магнітний малюнок з'являється за наявності поля розсіювання, що може утворюватися не тільки в місцях порушення суцільності, але й у місцях, де немає дефектів. Відкладення магнітного порошку в деяких випадках має характерні риси, за якими можна відрізнити уявні дефекти від дійсних.

Найбільш часто відкладення, що призводять до помилок, зустрічаються в місцях структурної неоднорідності, механічного і магнітного наклепу, різких звужень перетину деталі, по рискам і слідам грубої механічної обробки.

Уявні дефекти в основному дають розмиту, слабку картину відкладення магнітного порошку і характерного валика порошку не спостерігається. Тільки відкладення порошку в місцях ліквідації дуже важко відрізнити від відкладення порошку на тріщинах. У таких випадках під час дефектоскопії разом з магнітопорошковим методом використовують капілярний, електромагнітний і т. ін.

Магнітний контроль напівфабрикатів і виробів може проводитися із застосуванням стаціонарних і переносних дефектоскопів.

За допомогою магнітних дефектоскопів можна перевіряти окремі деталі в зібраних установках без їх демонтажу, деталі серійного виробництва в автоматичному і ручному режимах, деталі різного діаметра і довжини. Існують універсальні дефектоскопи і спеціалізовані.

Універсальні дефектоскопи в основному розраховані на роботу із суспензіями.

Дефектоскоп ПМД-70 призначений для виявлення поверхневих і підповерхневих дефектів у виробках із феромагнітних матеріалів з магнітною проникливістю не нижче 40. Маса двох блоків 60 кг.

Дефектоскопічні комплекти :

“МАГЭКС-3” – це приставний багатофункціональний намагнічувальний пристрій, котрий дозволяє плавно змінювати напруженість магнітного поля, регулювати міжполюсну відстань, здійснювати намагнічування і контроль деталей у поздовжньому магнітному полі. Маса комплекту 1,6 кг.

У-604-68 – для контролю різних за формою і розмірами деталей (максимальна довжина контрольованої деталі – 1725 мм);

УМДЭ-1000 – для контролю великих деталей діаметром до 800 мм і довжиною до 1600 мм; для контролю деталей довжиною до 2 м застосовують приставку.

УМДЭ-2500 – для контролю деталей діаметром до 500 мм і довжиною до 900 мм чи діаметром до 150 мм і довжиною до 1700 мм;



УМД-9000 – для контролю деталей довжиною до 1700 мм, діаметром до 900 мм.

Модульний дефектоскоп для магнітного контролю МД-М призначений для проведення неруйнівного контролю виробів з феромагнітних матеріалів з відносною магнітною проникністю не менше 40. Він належить до переносних спеціалізованих засобів контролю і розрахований для роботи в цехових, лабораторних або польових умовах. Дефектоскоп МД-М дозволяє контролювати різні за формою і розмірами вироби, їхні зварні шви, внутрішні поверхні отворів і інші зони шляхом намагнічування окремих ділянок або виробу в цілому. Контроль здійснюється за допомогою набору намагнічуючих пристроїв, що живляться постійним, змінним або імпульсним струмами. Під час проведення магнітопорошкового контролю дефектоскоп забезпечує можливість використання двох способів контролю виробів: на залишкової намагніченості і прикладеного поля циркулярним або поздовжнім полем.

Прилад МД-М має регулюванням струму до 5 000 А, пам'ять налаштувань контролю, режим "струм-пауза", автоматичне розмагнічування, регульовану тривалість намагнічування і розмагнічування й інші функції.

Дефектоскоп МД-М має модульну конструкцію і складається з 3-х модулів: МД-І (імпульсного струму на рис 2.4 по середині), МД-С (соленоїд змінного струму на рис 2.4 зліва), МД-Е (електромагніт постійного струму на рис 2.4 справа), що фактично є окремими приладами, електрично не пов'язані між собою. У кожному модулі передбачена можливість автоматичної установки заданого струму, збереження параметрів обраного режиму намагнічування в пам'яті приладу.



Рисунок 2.4 – Дефектоскоп МД-М

Усі універсальні дефектоскопи дозволяють розмагнічувати деталі, не знімаючи їх з дефектоскопа.

Зазвичай під час контролю однотипних деталей здійснюють часткову автоматизацію, тобто автоматизують затиснення деталі в контактному пристрої, пропускання струму через виріб, звільнення деталі з контактної пристрою. Обробку суспензією, огляд і дефектоскопію деталей контролер виконує окремо.

При контролі в прикладеному полі автоматизований цикл магніто-порошкового контролю охоплює затиснення деталі в контактному пристрої, пропускання струму, нанесення суспензії чи сухого порошку, звільнення деталі з контактної пристрою.

**Способи розмагнічування і контроль залишкової намагніченості.** Залишкова намагніченість деталей може шкідливо впливати на роботу вузла, складовою частиною якого вони є. Тому після повздовжнього намагнічування, при якому на деталях утворюються полюси, необхідно розмагнічувати деталі, що йдуть на складання. Необхідно розмагнічувати деталі: що мають поверхні тертя; прецизійних приладів; що застосовуються в літакобудуванні.

У деяких випадках розмагнічування є обов'язковою операцією. Наприклад, якщо після зняття поля, що намагнічує, залишкова намагніченість незначна (деталі з магнітно-м'яких матеріалів у нетермообробленому стані), якщо після намагнічування в одному напрямку деталь буде намагнічуватися полем іншого напрямку не меншої величини, якщо деталь після намагнічування буде піддаватися термічній обробці з нагріванням вище точки Кюрі.

Розрізняють декілька способів розмагнічування, суть яких зводиться до такого: деталь поміщають у змінне магнітне поле, напруженість якого змінюється від заданого максимального значення до нуля.

Деталі, намагнічені під час контролю в постійному магнітному полі, краще розмагнічувати в змінному полі низької частоти (близько 5 Гц.) або комутуванням їхнього напрямку з одночасним зменшенням сили постійного струму.

Розмагнічування змінним магнітним полем можна здійснити двома способами: плавним зниженням сили струму в соленоїді або плавним виносом деталі із соленоїда.

У першому випадку деталь поміщають у соленоїд до включення струму і видаляють після вимикання струму; у другому – відключення струму можна робити тільки після видалення деталі із соленоїда на відстань не менш 1 м.

Для кращого розмагнічування необхідно, щоб кожна ділянка деталі, яка розмагнічується, побувала в зоні максимального поля. Це досягається або обертанням деталі в нерухомому магнітному полі, або обертанням поля при нерухомій деталі.

Розмагнічувати деталі можна і пропусканням змінного струму безпосередньо через деталь чи стрижень, що проходить через отвір деталі, з пос-

туповим зменшенням його сили до нуля. Цей спосіб застосовують в основному під час розмагнічування великих і важких деталей. Допускається також розмагнічування великих деталей окремими ділянками за допомогою переносних електромагнітів і соленоїдів змінного струму.

Для контролю ступеня розмагнічування можуть бути використані ферозондові прилади.

Попередньо на кожну групу деталей мають бути встановлені допустимі норми максимальної залишкової намагніченості. Вони встановлюються по мінімальній намагніченості, що набувається деталями після гарту. У цьому випадку на деталь діє лише поле Землі. Максимально припустима норма залишкової намагніченості звичайно береться в 3 рази більшою, ніж величина мінімальної намагніченості.

## **2.2 Матеріали і устаткування**

Зразки та деталі. Магнітний дефектоскоп. Емульсія магнітного порошку.

## **2.3 Порядок виконання лабораторної роботи**

На деталях виявити найбільш імовірні місця утворення тріщин.  
Розробити технологію дефектоскопії із застосуванням магнітного методу.  
Зразки та деталі обробити за технологією магнітного контролю по залишковій намагніченості.

Проаналізувати рисунок, що утворився на зразках і деталях.  
Деталі й зразки розмагнітити та перевірити якість цієї операції.

## **2.4 Зміст звіту**

Показати актуальність упровадження магнітопорошкового методу контролю. Описати основні теоретичні положення відповідно до завдання та технології дефектоскопії. На основі теоретичних відомостей про фізичну природу магнітних методів пояснити характер отриманих результатів. Пояснити, унаслідок чого полегшується виявлення дефектів за допомогою магнітних методів та причини виникнення виявлених дефектів. Зробити висновки відносно результатів проведеної лабораторної роботи.

## **2.5 Контрольні запитання**

1. Класифікація й сфери застосування магнітних методів контролю.
2. Сутність фізичних процесів, що відбуваються під час контролю магнітними методами.
3. Способи намагнічування й контролю деталей.
4. Магнітні характеристики сталей.
5. Сутність магнітопорошкового контролю під час виявлення тріщин.
6. Фактори, що впливають на чутливість магнітопорошкового методу.

7. Типи магнітних дефектоскопів і їхні технічні характеристики.
  8. Фізичні аспекти впливу освітлення та кольору на чутливість методів контролю із застосуванням ока як чутливого елемента.
  9. Вплив технологічних факторів на ймовірність результатів контролю.
  10. Типи дефектів, для виявлення яких доцільно застосовувати магнітні методи.
  11. Вимоги до деталей, що контролюються магнітними методами.
  12. Типи магнітних дефектоскопів та їхні характеристики і призначення.
  13. Підготовка деталей до проведення контролю.
  14. Суть способів намагнічування деталей для контролю.
  15. Способи нанесення магнітного порошку.
  16. Способи розмагнічування деталей.
  17. У яких випадках розмагнічувати деталі необов'язково?
  18. Способи підвищення чутливості магнітних методів.
  19. Переваги та недоліки магнітних методів.
- Рекомендована література:[1, 12, 13].

## СТРУМОВИХРОВИЙ МЕТОД КОНТРОЛЮ

**Мета роботи:** навчитися застосовувати струмовихровий метод контролю для виявлення дефектів.

### 3.1 Загальні положення

Методом вихрових струмів (МВС) можна контролювати як магнітні, так і немагнітні метали, але обов'язково струмопровідні.

Суть методу вихрових струмів: випробувана деталь (ОК) повністю або частково знаходиться в магнітному полі котушки датчика, що живиться змінним струмом. Змінний магнітний потік  $\Phi_0$ , що виникає в ОК збуджує в ній вихрові струми, які також збуджують магнітний потік  $\Phi_v$ , що взаємодіє з магнітним полем котушки.

Вектори напруженості збуджувального поля і поля вихрових струмів спрямовані назустріч один одному. Результуюча ЕРС у котушці датчика, пропорційна різниці потоків  $\Phi_0 - \Phi_v$ , реєструється спеціальними електровимірювальними пристроями.

Вихровий струм, збуджений в ОК, залежить від таких факторів: електропровідності та магнітної проникності металу; розмірів і форми ОК; відстані (зазору) між котушкою датчика і ОК.

Електропровідність і магнітна проникність залежать від хімічного складу матеріалу, його структурного стану, глибини цементованих шарів. Наприклад, дефекти типу тріщин у металі ведуть до збільшення опору поверхневого шару.

Оскільки електромагнітне поле швидко загасає по мірі проникнення в глибину матеріалу, метод вихрових струмів придатний лише для контролю поверхневих і підповерхневих шарів.

Ефективна глибина проникнення вихрових струмів залежить від робочої частоти. У дефектоскопії використовують широкий спектр частот від 50 Гц до 10 МГц.

Найпоширенішим у МВС датчиком є котушка індуктивності або комбінація декількох котушок. За електричними властивостями сигналу розрізняють параметричні й трансформаторні датчики.

У параметричних сигналом слугує збільшення комплексного опору, який формується в тій же обмотці, по якій йде збуджуючий струм. Вони більш прості, частотний діапазон їхньої роботи ширше.

У трансформаторних сигналом є приріст комплексної напруги (ЕРС), що виникає в одній чи декількох вимірювальних обмотках. Ці датчики характеризуються підвищеною температурною стабільністю.

За способом розташування виробу щодо обмоток перетворювача, прилади поділяються на дві групи: з прохідним перетворювачем і прилади з накладними перетворювачами.

Під час контролю цими перетворювачами на параметри котушки впливають властивості виробу загалом. Їх застосовують для контролю прутків, дроту, труб, профілів, куль, роликів і кілець підшипників та інших виробів.

Накладні перетворювачі дозволяють контролювати вироби будь-яких форм і розмірів. Вони слугують для локального точкового контролю. При цьому величина зони контролю залежить від розмірів перетворювача.

Нижче розглянуті деякі випадки практичного застосування методу вихрових струмів.

Для перевірки якості деталей, що пройшли термічну обробку, вони часто піддаються вибірковому контролю. Практика показала: за такої організації контролю важко зафіксувати момент зміни якості термічної обробки деталей до неприпустимих значень, що може призвести до великих втрат від браку.

Для підвищення оперативності контролю пропонується вести активне статистичне регулювання процесу гартування деталей. Такий метод контролю дозволяє мати наочну картину перебігу процесу, вчасно знайти неприпустимі відхилення технологічних параметрів процесу і вжити необхідних заходів.

Перш ніж приступити до контролю, необхідно попередніми дослідженнями встановити наявність однозначної залежності контрольованого параметра (твердості, структури, величини зерна, хімічного складу) від електропровідності й магнітної проникності матеріалу виробу. Після цього вибирають тип приладу залежно від розмірів, форми виробу та умов його контролю.

Широке поширення під час контролю кілець підшипників на окремих технологічних стадіях виробництва одержали прилади типу БИЭК, ПЭСК, САК, призначені для контролю якості термічної обробки та для статистичного регулювання процесу термообробки кілець підшипників зі сталі ШХ15. Принцип дії вказаних приладів базується на безконтактному вимірюванні електроопору кілець.

Контроль здійснюється методом порівняння електроопору еталонного кільця з вимірюваним. Калібрування приладів проводять по еталонах – кільцях такого ж типу й розміру, як і ті, що перевіряються.

Контроль якості відпуску зазначеними приладами роблять у такий спосіб: контролюють кільця після гартування, фіксують результати вимірів; потім кільця маркують, піддають відпуску і повторно вимірюють. За різницею значень двох вимірів судять про якість відпуску: якщо різниця показів менша встановленого значення – відпуск проводився при дуже низькій температурі; якщо різниця показань більше встановленого значення, відпуск проводився при занадто високій температурі.

Число кілець у вибірці, а також частота відбору проб залежать від стабільності, продуктивності процесу й інших технологічних факторів.

Сортування сталей за марками можливо тільки в тому випадку, якщо електричні та магнітні властивості контрольованих матеріалів помітно від-

різняються. Можна здійснювати контроль на прутках, трубах, штангах, кільцях, роликах і т. ін. Контроль здійснюється методом порівняння. За еталони приймають деталі з потрібних марок сталі.

Метод вихрових струмів дозволяє виявляти поверхневі і підповерхневі тріщини, півки, неметалічні включення, волосовини й інші дефекти. Мінімальні розміри тріщин, що виявляються: глибина 0,02–0,03 мм, довжина 0,5–1,0 мм, ширина розкриття у виходу на поверхню 0,5 мкм. Така чутливість є граничною для сучасних дефектоскопів з накладними перетворювачами діаметром близько 1 мм. При цьому положення перетворювача щодо поверхні деталі має бути однаковим у всіх зонах контролю. Під час контролю прохідними перетворювачами положення виробу в перетворювачі має бути фіксоване.

Для контролю протяжливих об'єктів – прутків, штанг, труб – застосовують в основному дефектоскопи із прохідними датчиками. Для виявлення тріщин, волосовин, закатів у прутках холоднотянутої сталі ШХ15 діаметром 10–20 мм може бути використаний метод прохідної котушки з підмагнічуванням постійним струмом (для виключення впливу структурної неоднорідності по довжині прутка). Контроль здійснюється методом порівняння характеристик двох сусідніх ділянок контрольованого прутка. Дефектоскоп може бути встановлений у технологічну лінію калібрування чи в автоматичну контрольну лінію. При цьому треба враховувати: що вище коефіцієнт заповнення перетворювача, то вище ефективність контролю. На результати контролю дуже впливає локальна кривизна. Якщо в процесі контролю здійснюють підмагнічування постійним полем, то після контролю прутки мають бути розмагнічені.

Дефектоскоп може забезпечувати фарбування дефектної зони, якщо в лінію з ним вмонтувати фарборозпилювач, який керується сигналом датчика.

Найбільш поширені вихрострумові дефектоскопи ВД-250Н, ВД26Н, ВД-33, які призначені для виявлення дефектів у вигляді тріщин шириною більше 0,06 мм, довжиною більше 4 мм, глибиною більше 0,3 мм у поверхневих і підповерхневих шарах. Конструкція допускає нахил датчиків на 10–15° від перпендикуляра до поверхні ОК. Прилади можуть бути застосовані в цехових, лабораторних і польових умовах. Подвійна сигналізація (звукова і світлова) дозволяє використовувати прилади при значному шумі і низькій освітленості.

«Дефектомат 2.189» (ФРН) призначений для перевірки на наявність дефектів поверхні дроту, штанг, труб і профілів з феромагнітних і неферомагнітних матеріалів. Діапазон контрольованих діаметрів для дроту і штанг від 1 до 30 мм, для профілів від 2 до 30 мм по діагоналі, для труб від 3 до 135 мм при товщині стінок до 5 мм. Робочі частоти 200 Гц, 2,5 і 10 кГц; 30 і 90 кГц; швидкість руху виробів під час контролю від 0,008 до 5 м/с (визначається робочою частотою). Передбачено пристрій для кольорового маркування дефектів.

«Циркограф 6.221/6.222/6,223» (ФРН) призначений для перевірки дроту, штанг і труб із неферомагнітних і феромагнітних матеріалів на наявність поверхневих дефектів. Його датчик являє собою чотири накладні головки із зондами для гвинтоподібного сканування поверхні матеріалів; діаметри головок: 2–8 мм, 5–25 мм, 20–60 мм і 50–130 мм. Швидкість подачі від 0,15 до 1,2 м/с залежно від виду головок і мінімальної довжини дефектів.

«Магнатест 8В-104» (США) призначений для контролю труб і прутків діаметром від 6,35 до 63,5 мм; швидкість контролю до 2 м/с; передбачено кольорове маркування дефектної зони. Набір приладу містить стійку і катушку, у якій поміщені індикаторні катушки різного розміру залежно від контрольованого матеріалу. Катушка виконана з мідної труби, по якій циркулює вода для її охолодження; після припинення подачі води струм у катушці автоматично відключається; робоча частота 25 кГц.

У приладі передбачений пристрій, який дозволяє не враховувати кінцеві ефекти, він відключає прилад, якщо кінець прутка проходить через індикаторну катушку і виключає у такий спосіб помилкове спрацювання. Довжина кінця прутка, що не перевіряється, не перевищує 100 мм.

Для підвищення ефективності контролю необхідно також виконання деяких умов. Контрольовані заготовки мають бути чистими, без слідів грубого механічного оброблення. Локальна кривина (особливо гнуті кінці) не допускається. Коефіцієнт заповнення датчика має бути не менше 0,7. Для контролю дефектів на поверхні каліброваного дроту діаметром від 3 до 10 мм призначена установка ДТ-901. Вона складається з електронного пристрою, що забезпечує живлення перетворювача, пристрою для виправлення дроту в двох взаємно перпендикулярних площинах, пристрою для очищення, механізму розгортання, що забезпечує обертальний рух струмовихрового накладного перетворювача відносно дроту і передачу сигналу в електронний прилад. На виході автоматичного дефектоскопа встановлений притискний ролик, що зменшує вібрацію дроту. Мінімальна величина дефектів, що виявляються на дроті діаметром від 3 до 5 мм, – 1,5 %, на дроті діаметром від 5 до 10 мм – 1,0 % від діаметра контрольованого дроту.

Для виявлення дефектів типу тріщин у готових підшипникових виробках створені автоматичні прилади СК-27, СК.-31, СК-39. Виявлення дефектів по всій поверхні кульок і по твірній роликів здійснюється шляхом сканування датчиком поверхні контрольованого виробу. У приладах для кульок і циліндричних роликів датчики нерухомі. Сканування поверхні контрольованої кульки проводиться механізмом розгорнення за допомогою її обертання так, щоб усі точки поверхні потрапили в зону датчика. Сканування поверхні циліндричних роликів досягається обертанням ролика навколо його осі та одночасним його поступальним переміщенням. У приладах контролю конічних роликів деталі роблять обертальний рух, а датчики поступово переміщуються вздовж ролика. Усі автомати мають завантажувальні пристрої і забезпечують розбраковування виробів на дві групи: «придатні» і «брак».



Автомати СК-27, СК-31, СК-39 мають додатковий структурний канал, що дозволяє відбирати вироби з грубими порушеннями структури в поверхневих шарах, а також вироби, що відрізняються за маркою сталі. У сучасних автоматизованих вихрострумових приладах використовують вбудовані мікро ЕВМ («Електроніка 35-12», «Електроніка 35-21М», «Електроніка НЦ-80Т», «Електроніка 35-31»).

*Методика виміру електропровідності.* Для кількісного визначення електропровідності ( $s$ ) чи властивостей матеріалу, однозначно зв'язаних з нею, застосовують вимірювачі електропровідності типу ВЕ.

Перед початком роботи перевіряють точність приладу вимірюванням електропровідності двох-трьох контрольних зразків, для яких відоме її значення. За умови недостатньої точності приладу його додатково налаштовують.

Великі похибки вимірювань можуть бути викликані наявністю зазору між датчиком й поверхнею виробу, зумовленого наявністю окислів, покриттів, змащення і т. д. Помилка може бути викликана також кривиною виробу, близьким розташуванням датчика до його країв, змінами товщини виробу (якщо вона співрозмірна з глибиною проникнення вихрових струмів), наявністю отворів, виступів і т. ін. Конструкція приладів для вимірювання електропровідності дозволяє значно зменшити похибку при змінах зазору в межах від 0 до 200 мкм налаштуванням.

Електропровідність матеріалу переважно залежить від його температури. Тому вимірювання варто проводити при постійній температурі або при оцінці результатів враховувати її зміни. Температурну похибку можна зменшити, якщо градування шкали приладів перевіряти й уточнювати за контрольним зразком, що має однакову з виробами температуру й поправочні температурні коефіцієнти.

Якщо через велику кривизну поверхні неможливо виміряти абсолютні значення провідності, то електропровідність можна визначити відносно провідності контрольного зразка. Ними можуть бути деталі, вибрані з партії однотипних виробів, що перевіряються. Властивості контрольних зразків визначають під час механічних, хімічних, спектральних, металографічних й інших необхідних дослідженнях. Точність вимірів підвищується за умови постійних товщин виробів, кривизни їхньої поверхні в зоні контролю, відстані від датчика до виступів, впадин та країв виробів, що перевіряються.

МВС можна застосовувати також під час контролю партії виробів за структурою, твердістю й іншим характеристикам сплавів.

*Контроль кількості домішок й хімічного складу.* За наявності навіть незначної кількості домішок змінюються електропровідність й технологічні властивості сплаву, що може бути причиною утворення дефектів. Прилади ВЕ дозволяють встановити залежність електропровідності сплаву від наявності різних домішок й вирішити зворотну задачу – за електропровідністю й складом домішок визначити їхню кількість.

Вимірювачами електропровідності можна оцінювати ліквідацію елементів у виробі, визначати хімічний склад двокомпонентних сплавів.

*Контроль якості термообробки.* Зазвичай МВС дозволяє уникнути металографічного аналізу і механічних випробувань під час визначення виду й якості термообробки, а також механічних характеристик матеріалів. З цією метою необхідно попередньо дослідити зразки, що піддавались термообробці за різними режимами й провести контроль їхньої провідності. Найширше МВС використовується для контролю якості термообробки алюмінієвих сплавів. Загартовані й відпалені алюмінієві сплави значно розрізняються за електропровідністю, що дозволяє визначати за допомогою МВС їхній структурний стан. Під час природного старіння сплавів значення провідності зменшуються, а при штучному – збільшуються. Поширеним дефектом є перепал (перегрів), що виникає під час гартування. Сплав Д16 має вузький температурний інтервал гартування (485–503 °С). Вироби, після гартування за оптимальним режимом, через 5–10 хв мають електропровідність  $17,8 \cdot 10^6 - 19,5 \cdot 10^6$  См/м, а після більш тривалої витримки (природного старіння)  $17 \cdot 10^6 - 18 \cdot 10^6$  См/м. Якщо значення  $\sigma$  більше верхньої границі, то матеріал нагрітий до температури нижче оптимальної температури гартування, а якщо значення  $\sigma$  менше нижньої границі, то матеріал перепалений під час гартування.

Методом вихрових струмів виявляють м'які плями – зони зі зниженою твердістю, що виникають під час гартування крупногабаритних деталей з алюмінієвих сплавів. Ці дефекти є наслідком недостатнього прогріву чи недостатньо інтенсивного охолодження деталі. Електропровідність м'яких плям трохи вища, ніж частини деталей з нормальною твердістю. Для контролю виробів із плакованого листового матеріалу вирізають певну кількість зразків різної товщини, частину яких попередньо піддають термообробці за різних температур. Потім, не видаляючи плакований шар, вимірюють електропровідність ( $s$ ) зразків і визначають залежність  $s = f(T)$  у вигляді графіка або формули для матеріалу в загартованому стані. Для відомого інтервалу температур гарту визначають відповідний діапазон показань приладу.

Так, наприклад, для листа товщиною 0,8 мм зі сплаву Д16 після термообробки  $\sigma = (18,5 - 19,5) 10^6$  См/м. Ці залежності використовують для оцінки якості термообробки виробів тієї ж товщини, причому контролю піддають не виріб, а зразки-свідки, які прикріплюють до виробів, розташованих у різних зонах печі. Істотний вплив на механічні властивості й корозійну стійкість чинить швидкість охолодження нагрітих деталей при переносі їх з печі в гартівне середовище. Вона впливає й на електропровідність матеріалу. Вимірюючи електропровідність, можна стежити за процесом старіння сплаву й розрізняти матеріали після штучного й природного старіння.

Сплави у результаті термічного (до 350° С) і механічного впливу в результаті тривалої експлуатації знеміцнюються, що призводить до різкого зниження їхньої твердості (сплав АК4). Це, насамперед, викликає схоплення поверхонь деталей циліндро-поршневої групи двигунів внутрішнього

згоряння. Під час ремонту таких двигунів із використанням залежності між твердістю й електропровідністю вдається відібрати за допомогою струмовихрового контролю усі знеміцнені поршні й відновити їхні механічні властивості повторною термообробкою.

При контролі МВС матеріалів на твердість також потрібно мати контрольні зразки і залежності твердості від електропровідності в графічній або аналітичній формі. Під час їхньої побудови необхідно враховувати коливання  $s$  унаслідок розкиду хімічного складу сплаву, наявності плакованого шару й інших факторів.

Для багатьох матеріалів є залежності між електропровідністю й твердістю які дають можливість оцінювати твердість без ушкодження деталей.

Необхідність визначення якості термообробки або механічних властивостей деталей виникає не тільки під час виготовлення, але й експлуатації машин. За допомогою струмовихрового контролю можна визначати границю міцності обшивки зі сплаву В95Т, підданої тривалому впливу гарячого струменя. Для оцінки міцності необхідно заздалегідь одержати закономірність зміни провідності від міцності. Під час контролю вдається знайти ділянки у виробі, на яких міцність знижується від 540 до 400 МПа, що свідчить про їхнє нагрівання вище 200 °С.

Цей же метод можна використовувати для виявлення на машинах деталей, що не пройшли термічну обробку, якщо навіть їхня поверхня має фарбове покриття.

Застосування МВС дозволяє зменшити час перевірки твердості більше ніж у 10 разів порівняно з виміром цього параметру традиційними методами.

### **3.2 Матеріали і устаткування**

Вихрострумний дефектоскоп. Зразки та деталі для контролю.

### **3.3 Порядок виконання лабораторної роботи**

Вивчити органи керування дефектоскопом, навчитися застосовувати різні пристрої, що входять в конструкцію такого дефектоскопа для контролю зразків. Налаштувати дефектоскоп за допомогою стандартних зразків. Виміряти електропровідність зразків з різним часом затримки охолодження після вивантаження їх з гартувальної печі. Результати занести в табл. 3.1. Побудувати градувальні криві та описати отримані залежності аналітичними виразами. Навести приклади практичного використання отриманих результатів.

### **3.4 Зміст звіту**

Описати основні теоретичні положення відповідно до завдання. Пояснити характер процесів, що відбуваються під час контролю зразків МВС. Пояснити причини, що полегшують виявлення дефектів та місця їхнього

розташування за допомогою дефектоскопу. Зробити висновки відносно результатів проведеної лабораторної роботи.

Таблиця 3.1 – Залежність електропровідності сплавів АК-6 та Д16 від затримки охолодження під час гартування

Сплав АК6	$\tau$ , с						
	$\sigma$ , См/м						
Сплав Д16	$\tau$ , с						
	$\sigma$ , См/м						

### 3.5 Контрольні запитання

1. Класифікація методів контролю за допомогою вихрових струмів.
2. Характерні фізичні процеси й датчики. Особливості застосування накладних і прохідних датчиків.
3. Основні характеристики приладів для контролю вихровими струмами.
4. Визначення фізико-механічних властивостей і складу.
5. Основи контролю по електропровідності.
6. Методика контролю електропровідності.
7. Показати актуальність застосування МВС для контролю деталей.
8. На яких фізичних явищах базується контроль за допомогою МВС?
9. Вказати типи датчиків та їхні переваги і недоліки.
10. Охарактеризувати можливості приладів, призначених для проведення контролю МВС.
11. Якими способами можна зменшити похибки під час контролю МВС?
12. Описати підготовку ОК до проведення контролю.
13. Навести приклади доцільності використання контролю МВС у виробництві та експлуатації.

Рекомендована література: [3, 5, 11].

## АПАРАТУРА ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЮ

**Мета роботи:** вивчити будову, принцип дії і застосування ультразвукового дефектоскопу.

### 4.1 Загальні положення

Дефектоскопи поділяються на аналогові й процесорні. До складу останніх входить процесор (комп'ютер) для управління системами самого дефектоскопа і цифрової обробки інформації, що міститься в сигналі.

Принцип роботи аналогового дефектоскопа пояснюється структурною схемою, наведеною на рис. 4.1.

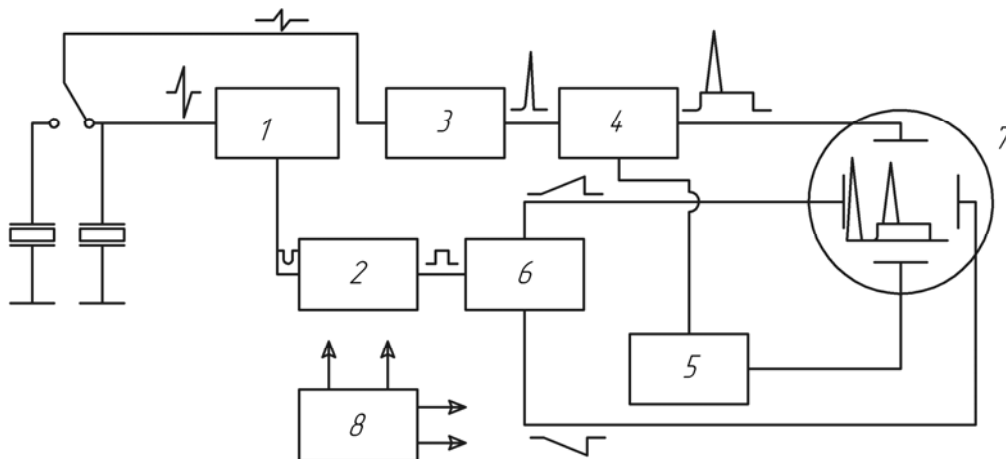


Рисунок 4.1 – Функціональна схема ультразвукового дефектоскопа

До основних вузлів функціональної схеми дефектоскопа належать: генератор синхронізуючих імпульсів – 1; синхронізатор – 2; підсилювач – 3; автоматичний сигналізатор дефектів – 4; глибиномір – 5, а також генератор зондувальних імпульсів; генератор напруги розгортки – 6; електронно-променева трубка – 7; блок живлення – 8.

**Генератор синхронізуючих імпульсів** (ГСІ) виробляє послідовність імпульсів, які синхронно запускають генератор зондувальних імпульсів, глибиномір і генератор напруги розгортки. Як ГСІ найчастіше використовують автоколивальний блокінг-генератор або тригер. Частота проходження синхроімпульсів зазвичай регулюється в межах 100...1000 Гн. Вибір частоти посилення зондувальних імпульсів визначається завданнями контролю, розмірами й геометричною формою об'єкта контролю. Мала частота посилення обмежує швидкість контролю, особливо в автоматизованих установках, але в цьому випадку незначний рівень шумів, що виникають під час об'ємної реверберації в об'єкті контролю. За умови підвищення час-

тоти посилення надійність виявлення дефектів зростає, яскравість світіння екрана ЕПТ збільшується. Однак виникає небезпека потрапляння на робочу ділянку екрана дефектоскопа багаторазово відбитих від стінок об'єкта контролю сигналів від попереднього зондувального імпульсу. Рекомендована частота посилення під час ручного контролю зварних швів 600...800 Гц.

**Генератор зондувальних радіоімпульсів (ГЗРІ)** призначений для отримання короткого імпульсу високочастотних електричних коливань, які використовуються для збудження п'єзоелемента. Основними елементами ГЗРІ є коливальний контур, п'єзоелемент і електронна схема (ключ), що забезпечує генерацію коротких імпульсів. На сьогодні часто застосовують генератори, що виробляють імпульси дзвіноподібної форми, що характеризуються вузьким спектральним складом при заданій тривалості, або імпульси, які містять один, два чи більше коливань (імпульсів) постійної амплітуди, що підвищує ККД генератора.

Частота високочастотних коливань, що заповнює імпульс, є основною характеристикою дефектоскопа. Вона визначається параметрами коливального контуру й резонансною частотою п'єзопластини.

Відбиті від дефекту імпульси пружних коливань потрапляють на п'єзопластини і за рахунок прямого п'єзоефекту перетворюються в ній в електричні сигнали. Приймально-підсилювальний тракт дефектоскопа слугує для посилення цих сигналів і містить попередній, вимірювач амплітуд сигналів (атенюатор), підсилювач високої частоти, детектор і відеопідсилювач. Попередній підсилювач забезпечує електричне узгодження підсилювального тракту з прийомним перетворювачем. Він містить обмежувач амплітуди, що оберігає підсилювач від впливу потужного зондувального імпульсу, коли перетворювач включений за суміщеною схемою. При цьому сигнали невеликої амплітуди практично не спотворюються.

У дефектоскопі передбачений спеціальний перемикач, за допомогою якого підсилювач може бути безпосередньо підключений до ГЗРІ (при роботі за суміщеною схемою) або відключений від нього (при роздільній схемі).

Для вимірювання відношення сигналів на вході підсилювача високої частоти є калібрований дільник напруги **атенюатор**, у якому на передню панель виведені проградуйовані регулятори з діапазоном вимірювання 80...110 дБ. Вимірювання полягає в порівнянні амплітуд двох чи декількох сигналів у відносних одиницях децибелів. Процес вимірювання зводиться до ослаблення прийнятих сигналів до деякого встановленого рівня. Величина цього ослаблення дорівнює амплітуді сигналу, що надійшов. Акустичний зондувальний імпульс приймають за 0 дБ, для нього потрібно максимальне ослаблення. Амплітуди всіх інших сигналів виражають у негативних дБ, хоча знак мінус не пишуть, а лише припускають. Необхідний діапазон від 0...100 дБ.

Останнім часом застосовують автоматичне визначення (вимірник) амплітуди з цифровою індикацією. Іноді амплітуду перераховують у величину, що характеризує розмір дефекту і подають її на цифровому табло.

Оскільки перерахування виконується за різними законами залежно від типу перетворювача і характеристик матеріалу ОК, вимірник вимагає попереднього налаштування. Під час переміщення перетворювача по ОК амплітуда ехосигналу від дефекту змінюється, але автоматичний вимірник фіксує максимальне значення амплітуди.

Крім каліброваного атенюатора імпульсні дефектоскопи мають ряд інших регуляторів чутливості. До них належать регулятор амплітуди зондувального імпульсу, некалібрований регулятор чутливості і відсічення. Відсічення (обмеження сигналів знизу) досягаються зміною граничного рівня детектора. Завдяки цьому відтинають усі імпульси, амплітуда яких менше обраної величини. Застосування відсічення спотворює реальне співвідношення амплітуд сигналів і звужує динамічний діапазон підсилювача приладу. У зв'язку з цим застосовують систему компенсованого відсічення, що забезпечує відновлення амплітуди сигналів, які були вище рівня відсічення, до первісної величини. На сьогодні загалом використовуються автоматичні вимірювачі амплітуди і координат цифровим виходом.

У більшості дефектоскопів атенюатор проградуєований в негативних децибелах, тобто чисельна величина відліку в децибелах пропорційна введеному за допомогою атенюатора коефіцієнту посилення. При цьому максимальному сигналу відповідає мінімальний відлік в децибелах.

Підсилювачі високої частоти бувають двох типів: вузькосмугові і широкосмугові. Перші мають високу стійкість до перешкод, викликаних великим коефіцієнтом посилення (до 80...90 дБ) і більш прості у виготовленні.

Однак застосування вузькосмугових підсилювачів збільшує габарити дефектоскопа за необхідності роботи в широкому діапазоні частот. Широкосмугові підсилювачі мають коефіцієнт посилення на порядок менше, стійкість їхня нижча, але і габарити менші.

Посилені високочастотні сигнали надходять на детектор, на навантаженні якого виділяється однополярна обвідна радіоімпульсу. Продетектовані сигнали надходять на відеопідсилювач з коефіцієнтом підсилення 20...30 дБ. Сигнали зображення подаються на екран електронно-променевої трубки і схему автоматичної сигналізації дефектів, призначену для фіксації за допомогою звукового або світлового індикатора сигналів, що перевищують заданий пороговий рівень.

Для отримання додаткової інформації про дефект, наприклад, про фазу відбитого сигналу, у деяких дефектоскопах передбачений вихід на трубку недетективного сигналу.

Для того, щоб придушити на екрані ревербераційно-шумові перешкоди на початку розгортки або вирівняти чутливість по глибині, у підсилювальному тракті передбачена схема часового регулювання чутливості (ЧРЧ). Ця схема виробляє імпульс певної форми (найчастіше експонентний), який подається на підсилювач високої частоти, замикаючи його безпосередньо після випромінювання зондувального імпульсу і змінюючи коефіцієнт по-

силення в часі. Тривалість, амплітуда і форма імпульсу ЧРЧ можуть регулюватися залежно від завдань контролю. З метою вирівнювання чутливості до однакових відбивачів, що залягають на різній глибині, закон зміни посилення має бути зворотним закону зменшення амплітуди відбитих сигналів, викликаного загасанням ультразвуку і розширенням пучка в міру збільшення відстані.

Генератор напруги розгортки слугує для формування пилкоподібної напруги, необхідної для отримання лінії розгортки на екрані електронно-променевої трубки, а також імпульсу підсвітки для збільшення яскравості зображення під час прямого ходу променя.

Імпульси пилкоподібної напруги позитивної та негативної полярності з виходу генератора подаються на горизонтально відхиляючі пластини електронно-променевої трубки, формуючи так звану розгортку А. При цій розгортці положення сигналу на лінії розгортки пропорційно часу поширення ультразвуку в акустичному тракті, а амплітуда сигналу пропорційна площі відбивача.

У дефектоскопах, зазвичай, передбачені плавне регулювання тривалості розгортки і ступінчасті діапазони тривалості, вибір яких виконують залежно від товщини виробу.

Глибиномірний пристрій слугує для визначення координат дефектів і товщини виробу шляхом вимірювання інтервалу часу між моментами випромінювання зондувального імпульсу і приходом відбитого сигналу. Стробуючий імпульс (строб-імпульс) подається на вертикально відхиляючі пластини електронно-променевої трубки і спостерігається на екрані у вигляді прямокутного імпульсу позитивної полярності. Передній фронт цього імпульсу і є міткою глибиноміра. Плавний регулятор глибиноміра проградуєований у міліметрах.

Як дисплей в аналогових дефектоскопах використовується електронно-променева трубка. Вона слугує для візуального спостереження ехо-сигналів, визначення відстані до дефектів і вимірювання амплітуди.

Розгорнення синхронізують з частотою посилення зондувальних імпульсів. Необхідну тривалість розгорнення  $t_p$  визначають залежно від швидкості поширення звуку (див. Додаток 1) у матеріалі й максимальної товщини ОК:

$$h_{\max}: t_p = 2h_{\max}/c. \quad (4.1)$$

При великій товщині ОК сигнали від близько розташованих один від одного відбивачів погано помітні на лінії розгорнення. З метою подолання зазначеного недоліку дефектоскопи мають схему затримки розгорнення («лупу часу»), за допомогою якої запуск розгорнення здійснюється не зондувальним імпульсом, а першим відбитим від поверхні ОК сигналом (при імерсійному контролі) чи сигналом, який довільно регулюється за часом.



В автоматизованих установках як реєстратори застосовують також різні записуючі пристрої: плотери, фотореєстратори, самописці.

Дефектоскопи загального призначення зазвичай забезпечені дубльованою системою живлення від мережі й автономною від акумуляторної батареї. Дефектоскоп має вихід синхронізації для роботи інших вимірювальних приладів і може бути синхронізований зовнішнім джерелом. Крім того, є виходи з відеопідсилювача для аналогової реєстрації результатів контролю на самописцю і зі схеми АСД для використання в автоматичних пристроях з альтернативною (більше – менше) оцінкою якості.

Додаткові допоміжні пристрої, що використовуються з дефектоскопами покликані полегшити працю оператора і підвищити достовірність контролю. До них належать магнітні тримачі, що забезпечують надійний акустичний контакт з виробом, обмежувачі переміщення в біляшовній зоні, пристосування для симетричного одночасного переміщення перетворювачів для контролю за схемою «тандем» й ін.

Аналогові дефектоскопи, на жаль, не звільняють оператора від багатьох операцій, у тому числі від таких, як обчислення еквівалентної площі й оцінку допустимості дефекту. Тому вони виводяться з ужитку.

Сучасні дефектоскопи мають пристрої для виміру амплітуди й часу надходження відбитого сигналу.

Автоматизовані ультразвукові дефектоскопічні установки відрізняються тим, що містять вузли переміщення ЕАП і реєстрації результатів. Як правило, установки призначені для контролю визначеного типу об'єктів. У них часто використовують декілька ЕАП, що працюють залежно від задач контролю одночасно чи послідовно окремими групами. У такому разі синхронізатор керує роботою електронного комутатора, що забезпечує обрану послідовність включення окремих електронно-акустичних каналів. Кожний з цих каналів містить перераховані вище вузли, які використовують залежно від технічних характеристик апаратури.

*Дефектоскоп із вбудованої мікроЕОМ* – основний тип приладу загального призначення останніх випусків. Аналогово-цифровий перетворювач, аналогові сигнали, що надходять з ОК, переводить у цифрову форму, у якій роблять подальшу обробку і виводять результати на табло чи дисплей у вигляді цифрових даних про глибину залягання й амплітуду ехо-сигналу від дефекту. Це підвищує точність і дає низку додаткових можливостей. МікроЕОМ може здійснювати первинну статистичну обробку результатів, зберігати інформацію про режими і результати контролю, документувати її, обмінюватися інформацією з ЕОМ більш високого рівня.

Одне з найважливіших призначень мікроЕОМ у дефектоскопі – це забезпечення сервісу, тобто оптимальна організація взаємодії контролера з приладом. З одного боку, поліпшуються умови праці контролера, з іншого – ЕОМ постійно перевіряє правильність його дій, зменшує тим самим вплив суб'єктивного фактора. Зокрема, налаштування такого приладу виконують у режимі діалогу, коли ЕОМ задає питання, а оператор вводить

відповідь чи вибирає один із запропонованих варіантів відповіді. Так можуть задаватися дані про ОК (товщину, швидкості звуку) і бажані параметри контролю (частота, тип хвилі, кут введення). Процедура налаштування може бути спрощена для найбільш часто контрольованих об'єктів. Наприклад, у пам'яті дефектоскопа УД-2-17 (рис. 4.2, а) можна зберігати до 12 попередньо підготовлених варіантів програм контролю і вибирати необхідний простим перемиканням.

Застосування цифрової техніки дає принципово нові можливості. Створення потужних процесорів малих розмірів забезпечує активне вдосконалення всієї дефектоскопічної техніки, у тому числі й ультразвукових дефектоскопів (рис. 4.2, б).



Рисунок 4.2 – Аналогово-процесорний (а) та мікропроцесорний (б) дефектоскопи

Процесорні дефектоскопи мають ті ж основні функціональні блоки, що й аналогові, але управління ними здійснюється на програмному рівні.

Найбільший розвиток отримали процесорні дефектоскопи зі вбудованим процесором і заданим програмним забезпеченням. Такий підхід дозволяє максимально зменшити габарити приладу, спростити управління й забезпечити високі характеристики міцності та інші експлуатаційні якості, необхідні під час ручного контролю.

Більшість процесорних дефектоскопів працює приблизно в одному частотному діапазоні від 1,25 до 10 МГц; має плоский дисплей з відображенням цифрової та відеоінформації (режим поліекрана), герметичну клавіатуру прямого доступу, не менше 2-х стробів АСД регульованих за тимчасовим положенням, тривалістю та амплітудним рівнем, сполучення із зовнішнім комп'ютером через стандартну інтерфейсну шину П5-232, комбіноване живлення: мережеве та від акумуляторної батареї; протиударний корпус й ін.

Застосування процесорних дефектоскопів кардинально полегшує працю і знижує психофізіологічне навантаження на оператора, оскільки звільняє його від виконання більшості вимірювальних операцій; підвищує продуктивність контролю за рахунок різкого скорочення (у десятки разів) часу на налагоджувальні операції при переході з одного об'єкта на інший і, най-

головніше, підвищує достовірність контролю. Останнє, передусім, визначається новими такими можливостями, як: автоматичне вимірювання амплітуди, еквівалентної площі, 3-х координат дефекту (за променем, глибиною і по поверхні), кількістю строб-імпульсів, меню для настройки параметрів, регулювання чутливості за декількома законами, експериментальна побудова і заповнення ДАК кривих (дистанція, амплітуда, коригування) за 6–8 відбивачам на різній відстані, пам'ять кадру (запам'ятовування картини на екрані й коментарів до них), текстовий редактор із записником, інструкціями і можливістю введення в пам'ять і вилучення з неї параметрів налаштувань для контролю до 128 різних об'єктів, архівування результатів контролю і багато іншого.

Сучасні дефектоскопи комплектують набором різних випромінювачів і приймачів ультразвукових електроакустичних хвиль – *електроакустичних перетворювачів (ЕАП)*, (рис. 4.3).



Рисунок 4.3 – Електроакустичні перетворювачі

*Прямий перетворювач* контактної типу призначений для роботи за сумісною схемою. П'єзопластину, зазвичай, виготовляють із ЦТС. На сьогодні часто використовують кераміку ПКР і метаніобат свинцю. Товщину п'єзопластини роблять довжиною в половину хвилі, для ЦТС, що експлуатується на частотах 1...10 МГц, вона дорівнює 0,16...1,6 мм.

На поверхні п'єзопластини методами осадження чи напилювання у вакуумі наносять срібні чи мідні електроди, які системою провідників з'єднують з кабелем, а через нього з дефектоскопом. У перетворювачі (чи поблизу нього) розташовують котушку індуктивності для настроювання перетворювача на резонансну частоту.

П'єзопластину ПЕП роблять звичайно круглою. Збільшення діаметра звужує діаграму спрямованості в далекій зоні, але водночас збільшується довжина ближньої зони, де оцінка розмірів і місця розташування дефектів ускладнюється наявністю максимумів і мінімумів сигналу. Доцільно застосовувати пластини малого розміру для контролю тонких виробів і більшого – для контролю виробів значної товщини.

*Похилий перетворювач* відрізняється від нормального наявністю призми. П'єзоелемент випромінює в призму поздовжні хвилі, що на границі призми з виробом переломлюються і частково відбиваються.

Кут нахилу призми  $b$  має забезпечити введення в ОК хвиль необхідного типу під потрібним кутом. Найчастіше вводять поперечні хвилі, а кути вибирають між першим і другим критичними. Вибираючи відповідні кути нахилу, збуджують поверхневі, головні хвилі й різні моди хвиль у пластинах і стрижнях.

*Роздільно-сумісний (РС) перетворювач* має випромінювальний і приймальний п'єзоелементи, що розділені акустично й електрично. Водночас вони об'єднані конструктивно в одному корпусі. Завдяки розділу електричний і акустичний зондувальні імпульси та імпульси перешкоди, що їх супроводжують, практично не попадають на приймач. У результаті зменшується мінімальна глибина прозвучування (мертва зона).

Для генерації і прийому *головних хвиль* використовують тільки РС-перетворювачі, тому що в інших випадках великий рівень шумів повністю маскує корисний сигнал.

*Широкозахоплювальні ПЕП* мають витягнуту прямокутну п'єзопластину; вони дозволяють контролювати широку смугу виробу за один прохід. *Широкозахоплювальні ПЕП* працюють у смузі частот більше однієї октави (тобто  $f_{max}/f_{min} \geq 2$ ).

*Фокусувальні ПЕП* дають концентрацію ультразвукової енергії в невеликій зоні – фокусі.

*Віялові ПЕП* випромінюють розбіжний у широкому діапазоні кутів пучок променів для виявлення різноорієнтованих площинних дефектів.

*Щілинні ПЕП* призначені для контролю виробів через шар контактної рідини невеликої товщини, причому зазор забезпечує конструкція перетворювача.

ПЕП зі *змінним кутом* дозволяють змінювати кут введення.

Сучасні дефектоскопи поділяють на портативні, переносні загального призначення і стаціонарні, призначені для роботи в автоматичних установках. Переносні прилади мають масу 15...20 кг. Їхня перевага – широкі можливості для регулювання параметрів контролю. Портативні прилади мають необхідний мінімум ручок керування, масу близько 5 кг і автономне живлення. Розходження між класами приладів можна продемонструвати на діапазонах їхніх робочих частот. Кращі переносні прилади для контролю металів мають діапазон частот від 0,5 до 25 МГц. Портативні неспеціалізовані прилади – 1...10 МГц, а прилади для автоматичних установок – одну чи дві фіксовані частоти.

Важлива характеристика дефектоскопа – *абсолютна чутливість чи поріг акустичної чутливості*. Її визначають відношенням мінімального прийнятого до максимального акустичного сигналу, що посиляється. За абсолютну чутливість дефектоскопа приймають максимальне значення абсолютної чутливості, що досягається хоча б з одним перетворювачем, який

входить у комплект приладу. Абсолютна чутливість сучасних дефектоскопів дорівнює 90...100 дБ. У кращих приладів вона досягає 120 дБ.

#### **4.2 Матеріали і устаткування**

Ультразвуковий дефектоскоп. Стандартні зразки.

#### **4.3 Порядок виконання лабораторної роботи**

Вивчити органи керування дефектоскопом, навчитися застосовувати різні пристрої, що входять в конструкцію дефектоскопа для прозвучування зразків. Налагодити дефектоскоп за допомогою стандартних зразків.

#### **4.4 Зміст звіту**

Описати основні теоретичні положення відповідно до завдання. На основі теоретичних відомостей про фізичну природу акустичних явищ пояснити характер процесів, що відбуваються під час прозвучування зразків. Пояснити роботу пристроїв, що полегшують виявлення наявності та місця розташування дефектів за допомогою ультразвукового дефектоскопу. Зробити висновки щодо результатів проведеної лабораторної роботи.

#### **4.5 Контрольні запитання**

1. Суть фізичних процесів, що відбуваються під час контролю акустичними методами.
2. Класифікація акустичних методів контролю.
3. Типи акустичних хвиль та їхні характеристики.
4. Система часового регулювання чутливості.
5. Індикатори прийнятих сигналів.
6. Система автоматичної сигналізації дефектів.
7. Перетворювачі для контролю ехометадами.
8. Технічні характеристики дефектоскопів.
9. Типи дефектів, для виявлення яких доцільно застосовувати акустичні методи.
10. Навести приклади, у яких випадках які типи акустичних перетворювачів доцільно використовувати.
11. Як визначається чутливість дефектоскопу?
12. Максимальна і мінімальна глибина контрольованих ОК, роздільна здатність та фактори, що визначають ці характеристики.
13. Пояснити різницю в конструкції та застосуванні перетворювачів різних типів.
14. Технологія виявлення дефектів акустичними методами.
15. Якими способами можна підвищити ймовірність контролю деталей акустичними методами?

Рекомендована література:[2, 7, 8].

## ВИМІРЮВАННЯ ТОВЩИНИ ВИРОБІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ УЛЬТРАЗВУКОВИХ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ

**Мета роботи:** дослідити можливості вимірювання товщини виробів з різних матеріалів ультразвуковими товщиновимірниками.

### 5.1 Загальні положення

Для вимірювання товщини широко застосовують ультразвукові коливання. Частіше за все використовують резонансний та ехометод.

Резонансні методи дозволяють виконувати вимірювання товщин від мінімального значення  $h_{min} = c/(2f_{max})$ , де  $c$  – швидкість звуку в матеріалі виробу,  $f_{max}$  – максимальна частота приладу. Підвищення цієї частоти до 30 МГц дозволяє вимірювати товщину сталевих виробів, починаючи від 0,06 мм. Вимірювання таких товщин іншими методами виконати не вдається. Похибка під час використання безконтактного методу становить 1...2%. У контактному варіанті похибка збільшується до 2...5% унаслідок зсуву резонансів під впливом нестабільного акустичного контакту. Резонансний метод придатний для контролю виробів з відносно гладкими поверхнями. Зміна товщини в зоні виміру не має перевищувати 8%, причому вимірюється середня товщина, а не найбільше її зменшення.

Ехоімпульсним методом товщину виробів можна визначити за часом проходження ультразвукового імпульсу і частотою повторень багаторазових відбиттів ультразвукових коливань (УЗК).

Імпульс пружних коливань, поширюючись в металі з певною швидкістю, багатократно відбивається від протилежних поверхонь виробу і чинить дію на п'єзоелемент (при зворотному ході), віддаючи йому частину енергії. Ця енергія перетворюється в послідовний ряд видимих на екрані імпульсів.

Інтервал часу  $t$  між любими сусідніми імпульсами прямопропорційний товщині  $h$  виробу.

Якщо швидкість поширення ультразвуку  $c$  в об'єкті відома, то, вимірюючи час  $t$  проходження ультразвуку в об'єкті в прямому і зворотному напрямках, можна визначити товщину за формулою

$$h = 0,5ct. \quad (5.1)$$

Наприклад, якщо під час контролю листового матеріалу ( $c = 6260$  м/с) інтервал часу між сусідніми імпульсами становить  $t = 5$  мкс, то товщина листового матеріалу буде

$$h = 0,5 \cdot 6260 \cdot 5 \cdot 10^{-6} = 0,01565 \text{ м} = 15,65 \text{ мм.}$$

Мінімальна контрольована товщина при заданій частоті залежить від тривалості ультразвукового імпульсу  $t_i$  та інтервалу між ними  $t$ . При малих

товщинах інтервал  $t$  може дорівнювати тривалості ультразвукового імпульсу, при цьому багатократні відбиття на екрані приладу зіллються і контроль стане неможливим.

Для того, щоб була можливість контролювати вироби малої товщини, необхідно зменшувати тривалість випромінювальних імпульсів (наприклад, підвищенням частоти прозвучування) або застосуванням пошукових роздільно-сумісних головок.

Максимальна контрольована товщина залежить від потужності імпульсного генератора, його чутливості і частоти УЗК. Реально діапазон вимірювальних товщин становить від одного до декількох десятків мм.

Похибка ехоімпульсних приладів під час вимірювання виробів з добре обробленими паралельними поверхнями не перевищує 0,01 мм, мінімальна вимірювальна товщина плоских зразків становить 0,25 мм. Під час вимірювання розмірів деталей з грубо обробленою поверхнею, з наявністю корозії і непаралельними поверхнями похибка вимірювань підвищується до 0,1–0,2 мм, а мінімальна вимірювальна товщина до 1,2–1,5 мм.

Відносну похибку ( $\Delta h/h$ ) у вказаних випадках можна визначити за формулою

$$\Delta h/h = \Delta c/c + \Delta t/t. \quad (5.2)$$

де  $\Delta c/c$  – відносна похибка у визначенні швидкості поширення ультразвукових хвиль;

$\Delta t/t$  – відносна похибка у визначенні часу проходження ультразвуковими хвилями вимірювальної товщини.

Налаштування на швидкість звуку виконують за зразком чи по ділянці ОК відомої товщини таким же способом, як і під час вимірювання товщини, тому похибка визначення швидкості і часу приблизно збігаються, з урахуванням цього співвідношення

$$\Delta h/h = 2\Delta t/t. \quad (5.3)$$

Для зменшення похибки, що пов'язана зі зміною часу проходження імпульсу через шар контактної рідини, підвищують вимоги до чистоти поверхні ОК, стабілізують притиснення перетворювача, виконують налаштування приладу і вимір на зразках з однаковою шорсткістю поверхні. Радикальний засіб усунення цієї похибки – виключення часу пробігу імпульсу в контактній рідині з вимірюваного інтервалу часу. Для цього потрібно розділити імпульси, відбиті від обох поверхонь шару контактної рідини, і виміряти інтервал часу, між імпульсом, що відповідає відбиттю від поверхні введення і донним сигналом. Таку задачу досить просто вирішити для імерсійного ультразвукового товщиноміру, де шар рідини товстий і сигнал, що вводиться в імерсійну рідину, чітко відрізняється від сигналу, відбитого від поверхні введення.

У контактних товщиномірах, що застосовуються під час ручного контролю, виділити сигнал, що відповідає відображенню від контактної поверхні ОК, можна тільки при дуже малій тривалості імпульсу, для одержання якого потрібно застосувати ширококутовий перетворювач. Можливе також використання багаторазового відбиття імпульсів в ОК. Імпульси, починаючи з  $n = 2$ , відповідають відбиттям між поверхнями ОК. На відстань між ними не впливає шар контактної рідини.

Похибка від впливу акустичного контакту унеможлиблюється за умови використання безконтактних способів випромінювання і прийому акустичних хвиль. Для цієї мети застосовують електромагнітно-акустичні (ЕМА) перетворювачі. Ширококутовість таких перетворювачів дозволяє формувати короткі імпульси, що важливо для досягнення високої точності. ЕМА перетворювачі легко збуджують поперечні, ніж поздовжні хвилі. Це також зручно, оскільки швидкість поширення поперечних хвиль менше, ніж поздовжніх. Тому вимірюваний інтервал часу збільшується і відповідно зменшується похибка  $\Delta t/t$ . Невелика чутливість ЕМА перетворювачів не є перешкодою за умови використання цього способу в приладах, де донний сигнал має велику амплітуду.

З інших чинників, що викликають похибку виміру, варто зазначити зміну температури. Вона призводить до зміни швидкості звуку в ОК, що компенсують налаштуванням на швидкість звуку. Змінюється також швидкість звуку в матеріалі перетворювача. Для виключення цієї похибки прилад має забезпечувати вимір часу пробігу імпульсу між поверхнями ОК і не включати в зазначений інтервал час пробігу в призмах й інших акустичних затримок.

При контролі РС-перетворювачами час пробігу імпульсу збільшується не пропорційно товщині, а за більш складним законом. Це пов'язано зі зміною кута нахилу променя, що проходить найкоротшим шляхом від випромінювача до дна ОК і потім до приймача. Для уникнення цієї похибки, прилад градуують за зразками, причому в області малих товщин кількість градувальних точок збільшують.

Похибка збільшується зі зменшенням товщини ОК. Це характерна риса виміру відстаней ехометодом.

Необхідно звернути увагу на специфічну помилку виміру виробів малої товщини. Якщо товщина ОК менша мінімального значення, вимірюваного приладом, то прилад може зафіксувати не перший донний сигнал (який злився із зондувальним імпульсом), а другий. У результаті буде допущена помилка: значення товщини буде вдвічі більше реального.

Максимальна товщина ОК фізичними причинами не обмежена, крім великого загасання ультразвуку в деяких матеріалах. У конкретних приладах її визначає мінімальна швидкість розгортки. Максимальну товщину (для матеріалів з невеликим загасанням ультразвуку) обмежують розміром 200...1000 мм. Великі товщини вимірюють імпульсними дефектоскопами і механічними засобами.



Зовнішня поверхня ОК має забезпечити можливість надійного акустичного контакту з перетворювачем, так само як під час дефектоскопії. Стан внутрішньої поверхні ОК визначає вибір типу ультразвукового товщиноміра. Для контролю виробів з нерівною внутрішньою поверхнею застосовують тільки прилади, що мають високу чутливість і використовують для виміру перший донний сигнал.

Припустимий радіус кривизни ОК – важлива експлуатаційна характеристика товщиноміра, за умови застосування його для контролю товщини стінок труб. Зменшення радіуса кривизни призводить до зменшення площі контакту перетворювача з поверхнею ОК і, отже, до зменшення амплітуди вимірюваного ехосигнала. Реально дефектоскопи дозволяють контролювати трубу діаметром 5...10 мм. Значно кращі показники при мінімальному радіусі кривизни поверхні мають імерсійні резонансні товщиноміри. Ними можна контролювати товщини стінок труб діаметром 3 мм і більше.

*Апаратура для товщинометрії.* Імпульсний товщиномір містить ряд вузлів, призначення і принцип дії яких аналогічні використуванню у дефектоскопії, а саме: генератор зондувальних імпульсів, перетворювач, приймач, підсилювач. Зазначимо їхні деякі особливості. Генератор формує електричний зондувальний імпульс з крутим фронтом, а смуги пропускання підсилювача і перетворювача розширені в області високих частот, щоб забезпечити проходження імпульсів з таким фронтом.

Для точного виміру товщини виробів із гладкими рівнобіжними поверхнями в процесі їхнього виготовлення призначені товщиноміри типу «Каліпер» (фірми Бренсон, США). Наприклад, «Каліпер 104М» забезпечує вимір товщини в діапазоні 0,25...200 мм з похибкою 0,01...0,1 мм. Він має трирозрядний цифровий індикатор.

Типові задачі – це вимір корозійного ушкодження корпусів морських і річкових суден, стінок судин, трубопроводів і балонів у хімічній промисловості й енергетиці. Для вирішення таких задач призначений товщиномір УТ-93П. Він дозволяє здійснювати вимір товщин у діапазоні від 0,6 до 1000 мм. Під час випробування на стандартних зразках у діапазоні до 300 мм прилад має похибку не більш  $\pm 0,1$  мм, а при великих товщинах похибка становить  $\pm (0,1 + 0,001/h)$  мм. Прилад вимірює товщину стінок труб діаметром 6 мм і більше. Припустима шорсткість зовнішньої поверхні  $R_z = 160$  мкм, а внутрішньої – 320 мкм. Товщиномір дозволяє виявляти локальні зменшення товщини, вимірювати товщину об'єктів з непаралельними поверхнями (при куті не більш  $10^\circ$ ).

Прилад дає цифровий відлік товщини ОК з матеріалів зі швидкістю звуку від 3000 до 6400 м/с. При відомому значенні товщини (у діапазоні 20...300 мм) він може використовуватися як вимірювач швидкості. Прилад має автономне живлення, його маса 0,4 кг.

Товщиномір типу УТ-55БЭ має автоматичне налаштування на швидкість ультразвуку. Для цього використовують головну хвилю, що виникає і поширюється уздовж поверхні об'єкта одночасно з випромінюванням у ньо-

го поздовжньої хвилі. Перетворювач комплектують додатковим прийомним п'єзоелементом, розташованим на постійній відстані (базі) від випромінювача. Час поширення головних хвиль на цій базі перераховують у швидкість звуку. Знайдене значення вводять у блок індикатора, що вказує товщину ОК у міліметрах. Цей товщиномір забезпечує вимір у діапазоні 1,5...1000мм з похибкою 2...4%. Зміни швидкості звуку в матеріалі можна компенсувати в межах 4,2...6,3 км/с. Прилад одночасно можна використовувати як вимірювач швидкості повздовжніх хвиль з похибкою не більш 2%.

Для роботи з ЕМА перетворювачами створена установка УТ80Б, яка призначена для контролю труб діаметром 30...150 мм з товщиною стінки 3...15 мм. Її похибка не перевищує 2%. Швидкість протягання труб до – 3 м/с. Установка має чотири канали випромінювачів-приймачів сигналів, що забезпечують контроль різностінності (тобто виміру товщини і різниці товщини) одразу в чотирьох точках по колу труби.

Для автоматичного контролю товщини тонкостінних труб застосовують імерсійні резонансні товщиноміри типу «Метал», які забезпечують вимір у діапазоні 0,1–4 мм з похибкою не більш  $\pm 1\%$  і дозволяє контролювати труби діаметром 3 мм і більше.

Для перевірки і налаштування товщиномірів використовують *стандартні зразки*. Звичайні плоскопаралельні кінцеві міри довжини типу щупів, плиток Йогансона малопридатні для калібрування товщиномірів у зв'язку з ненормованою зміною в них швидкості ультразвуку. Держстандартом розроблені й введені спеціально для перевірки ультразвукових товщиномірів комплекти мір товщини. Вони атестовані з похибкою 0,7% при товщинах 0,2...10 мм; 0,4% – при товщинах 10...12 мм і 0,3% – при товщинах 12...300 мм.

Інший комплект стандартних зразків дозволяє визначити вплив різних факторів: шорсткості поверхні, радіуса кривизни, непаралельності поверхонь. Товщиноміри перевіряють також на здатність визначати ділянки з локальним зменшенням товщини стінки. Перевірку виконують на зразках з плоскодонними отворами.

Для повсякденної перевірки працездатності універсальних товщиномірів виготовляють зразки із гладкими паралельними поверхнями з матеріалів з малим коефіцієнтом загасання УЗК (наприклад, з вуглецевої сталі). Для масової перевірки однотипних виробів виготовляють зразки, що максимально відповідають контрольованим виробам по матеріалу, радіусу кривизни, технології обробки поверхонь. Це дозволяє підвищити точність виміру товщини.

## **5.2 Матеріали і устаткування**

Ультразвуковий товщиномір. Зразки та деталі для налагодження товщиноміра і контролю товщини.

### **5.3 Порядок виконання лабораторної роботи**

Вивчити органи керування товщиновимірювача, Налагодити товщиновимірювач за допомогою стандартних зразків. Виміряти товщину зразків листового матеріалу за допомогою ультразвукового товщиновимірювача і мікрометра, порівняти результати, розрахувати похибку.

### **5.4 Зміст звіту**

Описати основні теоретичні положення відповідно до завдання. Пояснити характер процесів, що відбуваються при вимірюванні товщини зразків. Зробити висновки щодо результатів проведеної лабораторної роботи.

### **5.5 Контрольні запитання**

1. Суть та можливості ультразвукових методів при вимірюванні товщини.
  2. Визначення часу проходження ультразвукового імпульсу.
  3. Особливості будови ультразвукових товщиновимірювачів.
  4. Технічні характеристики ультразвукових товщиновимірювачів.
  5. Визначення похибок вимірювань.
  6. Показати актуальність застосування ультразвукових методів для контролю деталей.
  7. На яких фізичних явищах базується контроль за допомогою ультразвукових методів?
  8. Указати типи методів і датчиків, що використовуються для вимірювання товщини. Охарактеризувати їхні переваги й недоліки.
  9. Порівняти можливості резонансного методу та ехометоду для вимірювання товщини.
  10. Якими способами можна зменшити похибки під час контролю товщини?
  11. Описати підготовку ОК до проведення контролю.
  12. Навести приклади доцільності використання ультразвукових методів контролю товщини під час виробництва й експлуатації деталей.
- Рекомендована література: [2, 4, 11].

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

### ВІДПРАЦЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЮ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ

**Мета роботи:** відпрацювати технологію ультразвукового контролю зварних з'єднань з виконанням ультразвукового дефектоскопа УД2-12.

#### 6.1 Загальні положення

Зварні шви є наймасовішою областю застосування ультразвукової дефектоскопії. Це досягається за рахунок мобільності ультразвукової установки, високої продуктивності контролю, високої чутливості до будь-яких внутрішніх (об'ємних – пори, металеві та неметалеві включення; площинних – непровари, тріщини), а також зовнішніх, тобто поверхневих дефектів зварних швів (підрізи, напливи тощо).

Основним документом з ультразвукового контролю зварних швів є ГОСТ 14782-86, у якому розглянуті в повному обсязі методи контролю стикових, таврових, внапуск і кутових зварних швів, виконаних різними способами зварювання. Також у ньому докладно описані стандартні зразки (еталони) СО-1, СО-2 (СО-2А), СО-3 і СО-4 і стандартні зразки підприємств, необхідні для налаштування дефектоскопа, а також параметри для їхнього виготовлення.

На сьогодні в промисловості застосовують п'ять основних методів проведення УЗК (ГОСТ 23829-79), які відрізняються між собою способом реєстрації та оцінки даних діагностування.

Тіньовий метод. Полягає в контролі зменшення амплітуди ультразвукових коливань пройденого і відбитого імпульсів.

Дзеркально-тіньовий метод. Виявляє дефекти швів за коефіцієнтом загасання відбитого коливання.

Еходзеркальний метод або "Тандем". Полягає у використанні двох апаратів, які перегукуються в роботі й з різних сторін підходять до дефекту.

Дельтаметод. Ґрунтується на контролі ультразвукової енергії, перевипроміненої від дефекту.

Ехометод. Заснований на реєстрації сигналу відбитого від дефекту.

Найбільш поширеним акустичним методом контролю є ехометод із використання імпульсного ультразвукового дефектоскопа.

Далі наведена інструкція, що передбачає проведення контролю вручну з виконанням ультразвукового дефектоскопа УД2-12 (рис. 6.1). Позначення, розташування і призначення органів управління наведені в інструкції з експлуатації на дефектоскоп УД2-12.



Рисунок 6.1 – Дефектоскоп УД2-12

Перед початком ультразвукового контролю зачищають поверхню зварного з'єднання на відстані 50–80 мм з кожного боку шва, видаляючи бризки металу, залишки шлаку і окалину. Зачистку виконують ручною шліфувальною машинкою, а за необхідності ще й напилком або наждачним папером.

Щоб забезпечити акустичний контакт між щупом-шукачем і виробом, очищену поверхню металу безпосередньо перед контролем ретельно протирають і наносять на неї шар контактного мастила. Як мастило застосовують автол, компресорне, трансформаторне або машинне масло.

Схеми контролю стикових зварних з'єднань наведені на рис. 6.2. При однаковій товщині зварних деталей використовується схема контролю під час якої датчики розташовують з двох сторін зварного шва в одній площині (рис. 6.2, а). Ультразвуковий контроль в цьому випадку здійснюють шляхом почергової установки щупа по обидва боки шва, що контролюється.

У разі одностороннього доступу до зварного шва можлива одностороння схема контролю (рис. 6.2, б). Для контролю зварних швів різновтовщинних деталей проводять контроль зі сторони більш тонкої (рис. 6.2 в, г).

Після проведення контролю перевіряють правильність показань дефектоскопа на стандартних зварних швах із заздалегідь визначеними дефектами.

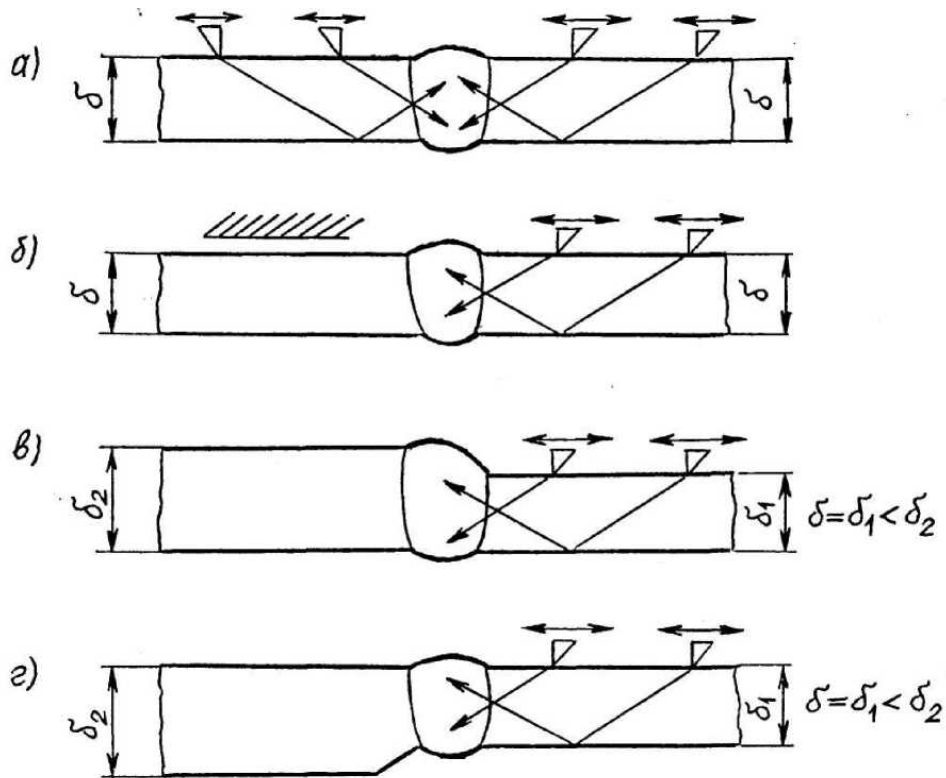


Рисунок 6.2 – Схема проведення ультразвукового контролю: а) – з двох сторін зварного шва в одній площині; б) – з однієї сторони зварного шва; в), г) – різнотовщинних деталей

У процесі контролю щуп-шукач плавно переміщують уздовж обох сторін шва по звивистій лінії (рис. 6.3), систематично повертаючи його на  $5...10^\circ$  в обидві сторони для виявлення дефектів, з різним просторовим розміщенням.

Контроль проводять як прямим (рис. 6.3, а), так і відбитим (рис. 6.3, б) променем. Стикові з'єднання з товщиною металу більше 20 мм, зазвичай, перевіряють прямим променем. При товщині металу менш 20 мм посилення шва не дає можливості встановити щуп так, щоб ультразвуковий промінь проходив через корінь шва. У цих випадках ультразвуковий контроль зварних з'єднань здійснюють одноразово або дворазово відбитими променями. При товщині металу менше 8 мм його прозвучують багаторазово відбитим променем.

Контроль проводять у два етапи, які можуть бути суміщені в часі: етап пошуку дефектів; етап оцінки сумнівних перетинів, у яких за результатами першого етапу перевіряється наявність дефектів.

На етапі пошуку дефектів перетворювач варто переміщувати без особливого зусилля зі швидкістю, що не перевищує 10 мм/с, забезпечуючи надійний акустичний контакт і заданий крок сканування відповідно до табл. 6.1 і рис 6.3 (для стикових швів).

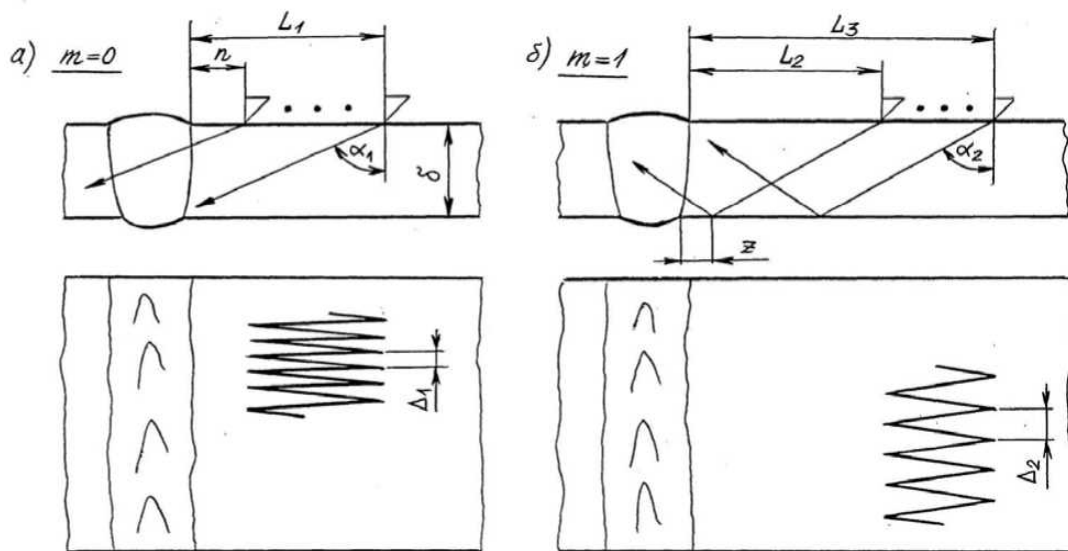


Рисунок 6.3 – Параметри сканування зварних швів:  
а) – прямим променем; б) – одноразово відбитим променем

Під час сканування перетворювач потрібно розміщувати перпендикулярно до шва і в процесі переміщення дотримуватись кроку сканування, систематично повертаючи його в обидві сторони на  $10...15^\circ$ .

Для виявлення дефектів, розташованих біля торців у стикових і таврових з'єднаннях, потрібно додатково прозвучувати зону біля кожного торця, поступово повертаючи перетворювач у межах до  $45^\circ$  між торцями з'єднання і площиною падіння хвилі.

У разі виявлення дефекту в стиковому з'єднанні проводиться перевірка на наявність поперечної тріщини, для чого перетворювач повертається таким чином, щоб площина падіння хвилі становила з поздовжньою віссю шва кут  $10...40^\circ$ .

Ознакою виявлення дефекту під час контролю є наявність на екрані сигналу, який:

- а) знаходиться в межах встановленої зони тимчасової селекції (стробування);
- б) перевищує рівень чутливості пошуку;
- в) викликає спрацювання світлового індикатора (загоряння зеленої або жовтої ламп АСД) чи звукового індикатора (якщо на блоці А10 натиснута кнопка Г і горить зелена лампа (АСД));
- г) переміщується по розгортці під час поперечного сканування перетворювачем.

Будь-яким з індикаторів дефектоскопа можуть бути зафіксовані також імпульси перешкод, що зумовлені такими причинами:

- нерівностями на біляшовній поверхні й валику шва;
- підрізами допустимої величини;
- різкими переходами валика шва в основний метал;
- шумами з призми перетворювача.

Таблиця 6.1 – Параметри сканування

Товщина, $\delta$ , мм	Параметри сканування (поперечно-повздовжнє сканування)										
	Контроль прямим променем ( $\tau = 0$ )				Контроль одноразово відбитим променем ( $\tau = 0$ )						
	Кут підводу променя $\alpha_1$ град	Межі переміщення перетворювач, мм		Крок сканування, $\Delta 1$ мм	Кут підводу променя град	Z, мм (див. рис. 6.3)	Межі переміщення перетворювач, мм		Крок сканування $\Delta 2$ мм		
		n	L1				L2	L3			
10	65±2	12	22	1	65±2	3	25	43	5		
12			26				29	52	6		
14			30				33	60	7		
16			35				38	69	7		
18			39				42	78	8		
20			43				46	86	9		
22			48				50	95	10		
24			52				55	103	11		
26			56				59	112	12		
28			60				50±2	5	38	67	6
30			65						41	72	6
32			69						43	77	7
34			73		46	82			7		
36			78		48	87			7		
38			82		50	91			8		
40			86		53	96			8		
42			90		55	101			9		
44			95		58	106	9				
46			99		60	111	10				
48			103		62	115	10				
50	108	65	120	10							

Імпульси шумів перетворювача відрізняються від інших імпульсів тим, що розташовуються на початку розгортки і не переміщуються по ній під час руху перетворювача.

Для того, щоб відрізнити імпульси перешкод від імпульсів, викликаних дефектами, потрібно визначити координати перешкоди, що відбиває сигнал. Імпульси належать до перешкод, якщо координати відбивання збігаються з поверхнею з'єднання.

Зафіксовані на етапі пошуку за ознаками, викладеними раніше, перетини мають бути зазначені на з'єднанні і повторно проконтрольовані з метою:

уточнення координат дефекту (глибина розташування  $Y$  і відстані  $X$  від точки введення променя до проекції дефекту на контактну поверхню) у міліметрах;

зміни амплітуди ехосигналу  $N_d$ , відбитого від дефекту у децибелах, визначення коефіцієнта  $K_d$  виявляємості дефекту у децибелах;

зміни умовної протяжності дефекту  $\Delta l/d$  у міліметрах;



зміни умовної відстані  $\Delta l$  між розташованими поруч дефектами в міліметрах.

Умовну протяжність і умовну відстань між поруч поруч розташованими дефектами визначають за умови, що амплітуди ехо-сигналів від них перевищують рівень пошуку  $K_p$ , але не перевищують рівень оцінки  $K_o$ .

Координати дефекту визначають шляхом установки перетворювача в положення максимальної амплітуди ехосигналу від дефекту. У разі необхідності послаблення сигналу потрібно скористатися атенюатором.

Після закінчення вимірів потрібно відновити вихідну чутливість, тобто необхідне ослаблення на атенюаторі, відключити (якщо застосовувалось) ручне стробування, для чого регулятор на передній панелі встановити у вихідне, крайнє ліве положення.

Амплітуду ехо-сигналу від дефекту  $N_d$  визначають: при установці перетворювача в положення максимуму (за необхідності послаблення сигналу скористатися атенюатором). При знаходженні вершини відбиваного сигналу в межах екрана, що відповідає показанням блоку цифрового відліку (БЦВ) і становить  $0,1 \dots 20$  дБ;

по виразу (з урахуванням знаку)  $N_d = N_d^{KH} - N_d^{БЦО}$ , використовуючи виміряні значення  $N_d^{KH}$  і  $N_d^{БЦО}$ .

Якщо в стробі знаходиться декілька сигналів, причому БЦО здійснює вимірювання не для необхідного сигналу, варто домогтися, щоб вершина аналізованого сигналу перебувала вище рівня двох великих клітин знизу по екрану ЕПТ і скористатися ручним стробуванням (регулятор на передній панелі).

У режимі вимірювань з використанням ручного стробування рівень другої розгортки (якщо вона ввімкнена) визначається першим непогашеним сигналом, що перевищує дві великі клітини знизу.

Коефіцієнт виявлення дефекту, з урахуванням знаку, визначають за виразом

$$K_d = N_d - N_o, \quad (6.1)$$

де  $N_d$  – максимальна амплітуда луна-сигналу від дефекту;

$N_o$  – максимальна амплітуда луна-сигналу від еталонного відбивача

Умовну протяжність  $\Delta l$  вимірюють між крайніми положеннями перетворювача, що переміщується уздовж зварювального з'єднання, за яких амплітуда луна-сигналу від дефекту відповідає рівню чутливості пошуку  $K_p$ , тобто порогу згасанням зеленої лампи АСД (рис. 6.1).

Умовна відстань між поруч розташованими дефектами  $\Delta l$  дорівнює:

- відстані між крайніми положеннями перетворювача, якщо умови відповідають (рис. 6.4);

- виміру умовної протяжності дефекту, якщо умовна протяжність цього дефекту  $\Delta l \vartheta > 10$  мм;
- максимуму луна-сигналу від дефекту, якщо умовна протяжність  $\Delta l < 10$  мм.

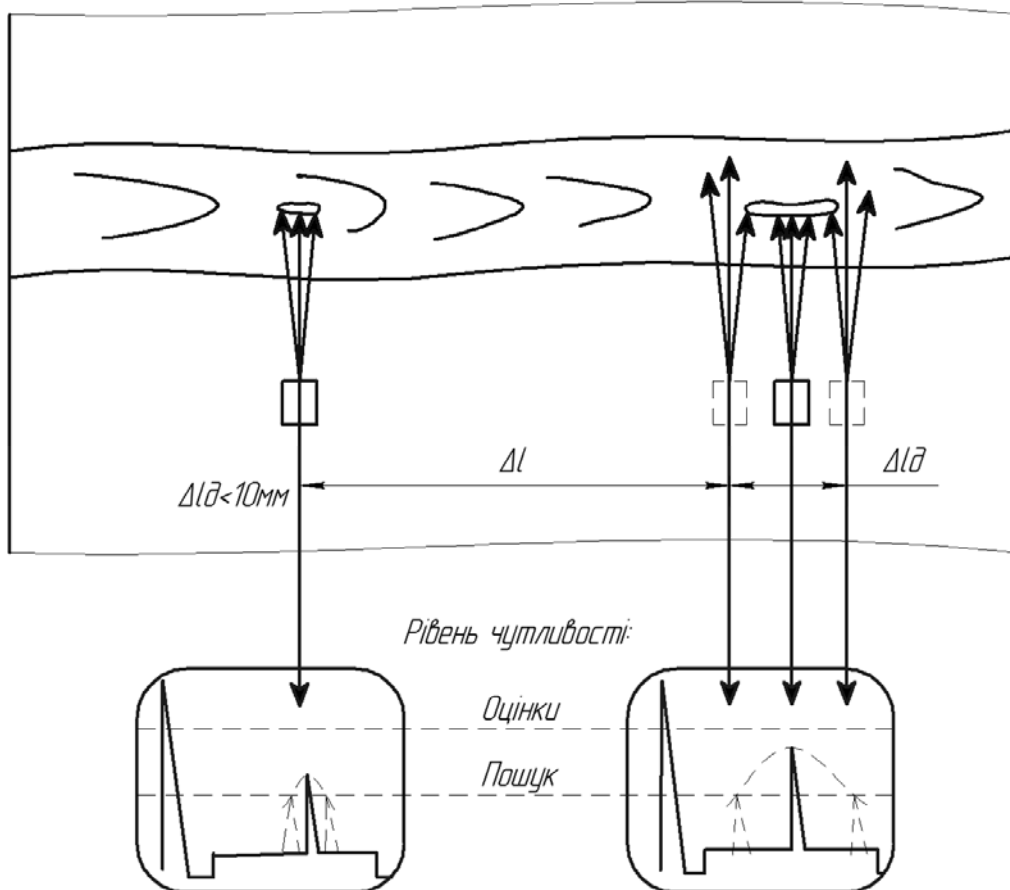


Рисунок 6.4 – Схема вимірювання умовної протяжності дефекту  $\Delta l \vartheta$  і умовної відстані  $\Delta l$  між розташованими поруч дефектами

За результатами ультразвукового контролю якості шва оцінюють за системою:

- «Придатний»;
- «Не придатний»;
- «Умовно придатний».

«Придатним» вважають шов без дефектів або з допустимими дефектами.

«Непридатним» вважають шов з неприпустимими дефектами;

«Умовно придатним» вважають шов з можливо допустимими дефектами (які не можна однозначно віднести до допустимих або неприпустимих). Такий шов повинен бути підданий додатковому контролю для уточнення характеру і розмірів дефектів. За умови неможливості додаткового контролю його відносять до категорії «не придатний».

До неприпустимих дефектів в зварних швах відносять:

1) будь-який дефект, максимальна амплітуда луна-сигналу від якого перевищує рівень оцінки (викликає спрацювання світлового індикатора (загоряння зеленої або жовтої ламп АСД) чи звукового індикатора (якщо на блоці А10 натиснута кнопка Г і горить зелена лампа (АСД);

2) будь-який дефект, для якого (одночасно):

- максимальна амплітуда луна-сигналу перевищує рівень пошуку і не перевищує рівень оцінки;

- умовна протяжність перевищує задане значення  $\Delta l \delta^*$  (табл. 6.2);

3) будь-які два дефекти, для яких (одночасно):

- максимальна амплітуда луна-сигналів (для кожного) перевищує рівень пошуку і не перевищує рівень оцінки;

- умовна протяжність (для кожного) не перевищує значення  $\Delta l \delta^*$  (табл. 6.1);

Умовна відстань між дефектами менше заданого значення  $\Delta l^*$  (табл. 6.2);

4) будь-які дефекти, для яких (одночасно):

- максимальна амплітуда луна-сигналів (для кожного) перевищує рівень пошуку і не перевищує рівень оцінки;

- умовна протяжність (для кожного) не перевищує значення  $\Delta l \delta^*$  (табл. 6.2);

- умовна відстань між сусідніми дефектами більше заданого значення  $\Delta l^*$ , (табл. 6.2);

- кількість дефектів на ділянках шва завдовжки 400 мм перевищує задане значення  $K^*$  (табл. 6.2);

5) будь-який дефект, для якого (одночасно):

- максимальна амплітуда ехо-сигналу перевищує рівень пошуку і не перевищує рівень оцінки;

- при виявленні дефекту акустична вісь перетворювача розташована під кутом  $1^0 \dots 40^0$  до поздовжньої осі шва.

До можливо допустимих належать дефекти, для яких (одночасно):

- амплітуда ехосигналів перевищує рівень чутливості пошуку (викликає спрацювання світлового індикатора (загоряння зеленої або жовтої ламп АСД) чи звукового індикатора (якщо на блоці А10 натиснута кнопка Г і горить зелена лампа (АСД);

- не виконуються попередні вимоги для неприпустимих дефектів.

Для таких дефектів необхідно уточнити їхню конфігурацію з використанням додаткових характеристик виявленого дефекту або методом про-свічування.

Якщо за результатами оцінки конфігурації можливо допустимого дефекту встановлено, що він площинний, він належить до недопустимих, а об'ємний – до допустимих.

При неможливості оцінки конфігурації можливо допустимого дефекту його відносять до неприпустимих.

До допустимим дефектів належать:

- відбивачі, амплітуда ехо-сигналів від яких не перевищує рівень чутливості пошуку (тобто не викликає спрацьовування ламп АСД);
- можливо допустимі об'ємні дефекти.

Таблиця 6.2 – Значення бракувальних ознак для швів різних категорій

Тип та категорія зварного з'єднання		Значення бракувальних ознак для швів різних категорій		
		$\Delta l_{\partial}^*$ , мм	$\Delta l^*$ , мм	$K^*$ , шт.
Зварні з'єднання I категорії	Крайні четвертини ширини стикового зварного шва	5	-	-
	Решта зон стикового зварного шва	5	40	4
Зварні з'єднання II категорії		5	10	5
Зварні з'єднання III категорії		10	10	6

### 6.3 Матеріали і устаткування

Ультразвуковий дефектоскоп УД2-12. Зразки та деталі для налагодження і контролю.

### 6.4 Порядок виконання лабораторної роботи

Підготувати зразки із зварними швами до контролю.

Підготувати ультразвуковий дефектоскоп УД2-12 до роботи.

Налагодити дефектоскоп за допомогою стандартних зразків.

Провести оцінку якості зварних швів із занесенням основних вимірвальних характеристик до таблиці.

### 6.5 Зміст звіту

Описати основні теоретичні положення відповідно до завдання. Пояснити характер процесів, що відбуваються під час ідентифікації дефектів. Зробити висновки щодо результатів проведеної лабораторної роботи.

Таблиця 6.3 – Форма журналу контролю

№ п/п	Дата контролю	Характеристика зварного шва							Тип по № дефектоскопа
		Тип з'єднання та індекс шва	Категорія	Марка сталі	Довжина проконтрольованої ділянки, мм	Клеймо зварювальника	Товщина, мм	Ширина валиків d1/d2 чи розміри катетів K1/K2, мм	

Реалізовані параметри контролю					Результати	
Вимірне значення кута вводу $\alpha$ , град	Спосіб прозвучування	Чутливість оцінки $K_0$ , дБ	Амплітуда сигналів від еталонного відображення $N_0$ , дБ	Мертва зона $M$ , мм	№ дефекту	Відстань від краю шва до початку дефекту, мм

Результати контролю				Коефіцієнт виявлення $K_d$ , мм	Примітка	Прізвище та підпис дефектоскопіста	Висновки про якість шва, підпис особи, що його дала
Глибини дефекту $U$ , мм	Амплітуди сигналу від дефекту $N_d$ , дБ	Умовна протяжність $\Delta l_0$ , мм	Умовна відстань між сусідніми дефектами $\Delta l$ , мм				

## 6.6 Контрольні запитання

1. Сутність та можливості ультразвукових методів.
2. Визначення часу проходження ультразвукового імпульсу.
3. Особливості будови ультразвукових дефектоскопів.
4. Технічні характеристики ультразвукових дефектоскопів.
5. Визначення похибок вимірювань.
6. Показати актуальність застосування ультразвукових методів для контролю деталей.
7. На яких фізичних явищах базується контроль за допомогою ультразвукових методів?
8. Указати типи методів та датчиків, що використовуються для визначення дефектів. Охарактеризувати їхні переваги і недоліки.
9. Якими способами можна зменшити похибки під час контролю зварних швів ультразвуковим дефектоскопом?
10. Описати підготовку ОК до проведення контролю ультразвуковим дефектоскопом.

Рекомендована література: [6, 7, 8].

## КОНТРОЛЬ СТРУКТУРИ МАТЕРІАЛІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ УЛЬТРАЗВУКОВИХ МЕТОДІВ

**Мета роботи:** дослідити можливість визначення середнього розміру зерна і глибини міжкристалічної корозії методом ультразвукового структурного аналізу.

### 7.1 Загальні положення

Контроль структури матеріалів базується на оцінці загасання і швидкості поширення пружних хвиль у контрольованих об'єктах. На підставі порівняння результатів вимірів швидкості або затухання УЗК у контрольованих деталях і контрольних зразках або в деталях до і після їхньої термічної обробки можна стверджувати не тільки про величину зерна, а й про ступінь карбідної неоднорідності в сталях і металевих сплавах, про величину і форму частинок графіту в чавунах, про ступінь міжкристалічної корозії в корозійностійких (нержавіючих) сталях.

Розмір зерен – один з важливих показників якості кристалічних матеріалів (зокрема, металів), що безпосередньо впливає на міцність, ударну в'язкість, границю плинності матеріалу. Розмір зерна, визначений за ГОСТ 5639–82 як середній діаметр зерна оцінюється в номерах шкали (балах) ГОСТ. Наприклад, бал (0) відповідає середньому діаметру зерна 352 мкм, а балу (14) – зерно діаметром 2,7 мкм. Існують також негативні бали, наприклад, бал (- 3) відповідає розміру зерна в 1 мм.

У деяких матеріалах (залізо, титан) можуть відбуватися алотропічні перетворення, тобто зміна будови кристалічної ґратки. У результаті всередині первинного зерна з'являються більш дрібні вторинні кристаліти. Поняття зерна в цьому випадку звичайно відносять до первинного зерна, але на властивості матеріалу має дуже сильний вплив також і субструктура матеріалу. Роздільний вплив розмірів первинного і вторинного зерна на поширення акустичних хвиль поки вивчено не досить повно, тому ультразвукові методи наразі застосовують переважно для оцінки структури простих матеріалів, що не мають субструктури.

Розмір зерна впливає також на коефіцієнт розсіювання ультразвукових хвиль, тому структуру доцільно контролювати по загасанню ультразвуку. Відношення довжини хвилі  $\lambda$  до середнього діаметра зерна вибирають у діапазоні від 4 до 15. На частотну залежність загасання значно впливає розподіл зерен за розмірами.

Вимір абсолютного значення коефіцієнта загасання досить трудомісткий, а похибка виміру велика (10% і більше). Тому під час виробничого контролю застосовують відносні способи порівняльного вимірювання загасання в зразках і об'єктах контролю (ОК).

Широке поширення набув спосіб структурних коефіцієнтів, відповідно до якого на двох частотах вимірюють амплітуди донних сигналів в ОК і зразках з відомою структурою й однаково низькою шорсткістю поверхні ( $R_a < 2$  мкм). Одну з частот (опорну) вибирають низькою так, щоб загасання ультразвуку мало залежало від структурних складових, а донні сигнали на цій частоті в зразках і ОК були рівні. Завдяки цьому істотно зменшується вплив нестабільності акустичного контакту. Інші частоти (робочі) відповідають області максимального коефіцієнта розсіювання.

Співвідношення амплітуд сигналів, що відповідають робочим і опорній частотам, названі *структурними коефіцієнтами*. Їх визначають на ОК для різних робочих частот і порівнюють зі структурними коефіцієнтами, отриманими на стандартних зразках. Із використанням частот від 0,65 до 20 МГц оцінюють величину зерна в аустенітних сталях у діапазонах від 1 до 9 балу. Похибка визначення величини зерна – 1 бал шкали ГОСТ 5639–82.

Вимірювання виконують на приладах типу ВУС11И, ВУС121М. Вони мають діапазон частот від 0,25 до 25 МГц, дають цифровий відлік амплітуд у дБ, визначають середнє значення амплітуди декількох вимірів. Крім того, прилад забезпечує вимір швидкості поздовжніх хвиль.

При контролі структури тонкостінних труб, листів використовують хвилі Лемба. Визначену моду хвилі збуджують і приймають роздільними перетворювачами після проходження їх через контрольовану ділянку виробу. Для контролю ниток і дротів у них збуджують хвилі, що поширюються в стрижнях. Оскільки на ослаблення ультразвуку чинить вплив ступінь натягу дроту цей параметр стабілізують. В обох способах послаблення ультразвуку у виробках порівнюють з послабленням його в зразках.

По загасанню ультразвуку оцінюють вміст домішок, що спотворюють кристалічну структуру чистих матеріалів, наприклад, алюмінію. Для цього використовують вимір так званого «часу звучання», тобто інтервалу часу, за яке багаторазові відбиття ультразвуку в зразку з плоскопаралельними поверхнями зменшуються до визначеного рівня від деякого обраного значення. Невеликі поперечні розміри зразка дозволяють не враховувати дифракційної розбіжності променів.

Міжкристалічна корозія вражає зсередини стінки судин і трубопроводів: відбувається хімічне перетворення речовин, які розташовуються по границях кристалітів (зерен) металу і в результаті різко знижується міцність останнього. Інші види поверхневої корозії виявляють за локальним зменшенням товщини стінок за допомогою товщиномірів. Міжкристалічна корозія характерна дуже тонкими проміжками між зернами металу, причому ці проміжки заповнені продуктами корозії. Такі несутцільності не дають чіткого відбиття ультразвукових хвиль, тому міжкристалічну корозію контролюють по загасанню ультразвуку (ГОСТ 6032–75).

Найбільш простий спосіб полягає в порівнянні амплітуд сигналів, що пройшли той самий шлях в ОК, ураженому і не ураженому корозією. Кое-

фіцієнт корозії приймають рівним відношенню амплітуд в ураженому ОК зразковому ОК. Контроль ведуть на частотах 1...10 МГц, підбираючи таке значення, де вплив корозії найбільший. Залежно від умов контролю можуть бути використані повздовжні хвилі із застосуванням сполученого чи роздільно-сполученого перетворювача, або поперечні хвилі, випромінювані й прийняті двома зустрічно розташованими похилими перетворювачами. При невеликій товщині ОК використовують хвилі Лемба або квазі-релеєвські хвилі.

Недолік описаного методу полягає в тому, що два ОК мають дуже точно відповідати один одному за формою і станом поверхні. Трохи знижуються вимоги до зразкового ОК при використанні відносного методу, коли контроль здійснювати на двох частотах таким же способом, як при вимірі структурних коефіцієнтів, при цьому помилки у вимірі глибини корозії складають 5–10%.

*Визначення величини зерна в сталях.* Критерієм для визначення величини зерна в сталях слугує відношення амплітуд донних ехосигналів, отриманих під час контролю виробу на різних частотах і за умови використання постійного коефіцієнта підсилення. Зазначені співвідношення мають такий вигляд

$$K_1=A_{f2}/A_{f1}; K_2=A_{f3}/A_{f1}; K_3=A_{f4}/A_{f1}.....; \quad (7.1)$$

де  $K_1, K_2, K_3$  – структурні коефіцієнти;

$A_{f1}, A_{f2}, A_{f3}$  – амплітуди сигналів при заданому коефіцієнті підсилення і частотах відповідно  $f_1, f_2, f_3$  ( $f_1 < f_2 < f_3$ ) при цьому частоту УЗК вибирають такою, щоб  $A_{f1}$  не дорівнювала б нулю.

Для застосування цього методу з матеріалу попередньо виготовляють контрольні зразки з різним розміром зерна і за ними визначають структурні коефіцієнти для кожного зразка. Потім проводять металографічний аналіз і визначають амплітуди сигналу в залежності від величини зерна.

Як показала практика, чутливість методу досить висока і дозволяє визначати середню величину зерна з точністю до одного бала шкали ГОСТ.

*Визначення глибини ураження металу корозією.* При визначенні глибини пошкодження металу корозією як показник розсіювання УЗК є відношення амплітуд ехосигналів під час прозвучування зразків з різним ступенем ураження корозією і не уражених зразків на фіксованій частоті при постійному коефіцієнті підсилення. Ці співвідношення називаються коефіцієнтами міжкристалічної корозії

$$K_1=A_{h1}/A_0; K_2=A_{h2}/A_0; ... K_n=A_{hn}/A_0; \quad (7.2)$$

де  $K_1, K_2 ... K_n$  – коефіцієнти міжкристалічної корозії;

$A_{h1}, A_{h2} ... A_{hn}$  – амплітуди сигналів при контролі зразків з різною глибиною міжкристалічної корозії  $h_1, h_2 ... h_n$ ;



$A_0$  – амплітуда сигналу при контролі зразка, не ураженого корозією.

Визначивши коефіцієнти міжкристалічної корозії по контрольним зразкам з відомою глибиною ураження, можна з достатньою точністю встановити ультразвуковим методом глибину ураження корозією ОК з аналогічного сплаву.

## 7.2 Матеріали і устаткування

Зразки сталі 12Х18Н10Т з різним розміром зерна і зразки, уражені корозією на різну глибину. Дефектоскоп УДМ-3М або УД2-12 із перетворювачами (пошуковими головками).

## 7.3 Порядок виконання лабораторної роботи

1. Визначити амплітуди сигналів за частотами, указаними в табл. 7.1 і табл. 7.2, розрахувати структурні коефіцієнти для еталонних зразків.
2. Металографічним методом визначити розмір зерна та глибину міжкристалічних корозійних пошкоджень на еталонних зразках.
3. Результати занести в табл. 7.1 і 7.2.

Таблиця 7.1 – Значення амплітуди сигналів і структурних коефіцієнтів в залежності від середньої величини зерна аустенітної сталі й частоти прозвучування для еталонних зразків

Середня величина зерна, мм	Амплітуда сигналу, мм, при частоті, МГц				Структурні коефіцієнти		
	1,4	2,8	5,6	11,2	К <sub>1</sub>	К <sub>2</sub>	К <sub>3</sub>
0,03							
0,06							
0,08							
0,12							
0,15							
0,18							

4. Визначити амплітуди сигналів за частотами, вказаними в табл. 7.3 і табл. 7.4, розрахувати структурні коефіцієнти для досліджених зразків.
5. Провести лінійну апроксимацію необхідних інтервалів структурних коефіцієнтів за даними табл. 7.1 і 7.2.

Таблиця 7.2 – Значення амплітуд і коефіцієнтів міжкристалічної корозії в залежності від глибини корозії і частоти прозвучування для еталонних зразків

Характеристика стану поверхні зразка	Амплітуда сигналу, мм, при частоті, МГц			Коефіцієнти міжкристалічної корозії при частоті в МГц		
	1,25	2,5	5	1,25	2,5	5
				K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>
Зразок не уражений корозією						
Зразок, уражений корозією на глибину, мкм:	40					
	80					
	120					
	220					

6. Користуючись отриманими залежностями визначити розмір зерна та глибину міжкристалічних корозійних пошкоджень на дослідних зразках і занести дані до табл. 7.3 і 7.4.

7. Отримані результати перевірити металографічним методом.

Таблиця 7.3 – Значення амплітуди сигналів і структурних коефіцієнтів для досліджуваних зразків

Середня величина зерна, мм	Амплітуда сигналу, мм, при частоті, МГц				Структурні коефіцієнти		
	1,4	2,8	5,6	11,2	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>
1							
0,03							
1							
0,06							
0,08							
0,12							
0,15							
0,18							

Таблиця 7.4 – Значення амплітуд і коефіцієнтів міжкристалічної корозії для досліджуваних зразків

Характеристика стану поверхні зразка	Амплітуда сигналу, мм, при частоті, МГц			Коефіцієнти міжкристалічної корозії при частоті, МГц		
	1,25	2,5	5	K1	K2	K3
				1,25	2,5	5
Зразок, не уражений корозією						
Зразок, уражений корозією на глибину, мкм:	40					
	80					
	120					
	220					

#### 7.4 Зміст звіту

Описати основні теоретичні положення відповідно до завдання. Розробити технологію визначення розміру зерна та ступеню корозійних пошкоджень аустенітної сталі акустичним методом. На основі теоретичних відомостей про фізичну природу поширення ультразвукових хвиль пояснити характер отриманих результатів (табл. 7.10–7.4). Зробити висновки щодо отриманих результатів.

#### 7.5 Контрольні запитання

1. Суть контролю мікроструктури із застосуванням акустичного методу.
2. Фактори, що впливають на ступінь затухання і розсіювання акустичних хвиль.
3. Вибір частоти прозвучування.
4. Вибір типу перетворювача
5. Охарактеризуйте залежність ступеня затухання і розсіювання акустичних хвиль від розміру зерна.
6. Охарактеризуйте залежність ступеня затухання і розсіювання акустичних хвиль від глибини корозійних пошкоджень.
7. Укажіть типи перетворювачів, які доцільно використовувати в цьому методі контролю.

Рекомендована література: [2, 7, 12].

## ЕЛЕКТРОПОТЕНЦІАЛЬНИЙ МЕТОД КОНТРОЛЮ ДЕТАЛЕЙ

**Мета роботи:** вивчити можливості застосування електропотенціального методу для вимірювання глибини тріщин, товщини покриттів та глибини корозійного пошкодження деталей.

### 8.1 Загальні положення

Електропотенціальний спосіб базується на реєстрації розподілу потенціалів. При прикладанні до металевого тіла, наприклад, циліндричного зразка, електричної напруги в ньому утвориться електричне поле. Геометричне місце точок з однаковими потенціалами становить екіпотенціальні лінії такого електричного поля. Різниця потенціалів на достатній відстані від електродів залежить в основному від трьох факторів: електропровідності, геометричних розмірів струмонесучого виробу і наявності тріщин, що часто знаходяться поблизу поверхні. Вимірювання зміни електричного потенціалу, наприклад, зондовим методом, полягає у наступному. Із використанням струмопідвідних електродів, встановлених уздовж вимірюваної довжини, об'єкта досягають рівномірного проходження струму. Потім за допомогою потенціальних електродів вимірюють падіння напруги на цій ділянці поверхні. При рівномірному проходженні струму падіння напруги може бути визначене за законом Ома:

$$U_0 = RI = l_0 I / As, \quad (8.1)$$

де  $l_0$  – довжина лінії струму між двома потенціальними електродами;  
 $A$  – площа поперечного перерізу;  
 $s$  – електропровідність.

Контроль вологості, суцільності неелектропровідних покриттів на електропровідній підкладці (у деяких випадках контроль термічної обробки металів) здійснюють на підставі електричного опору ділянки матеріалу чи опору між електродом і основою покриття. Метод падіння електричного потенціалу застосовують для вимірювання глибини тріщин. Для цього чотири електроди встановлюють по обидва боки від досліджуваної тріщини на певній відстані один від одного. Через крайні найбільш віддалені від тріщини електроди пропускають струм. Напруга між двома внутрішніми електродами буде визначатись аномаліями поверхні на ділянці між ними:  $r l = U/I$ , де  $r$  – питомий опір,  $l$  – відстань між внутрішніми електродами. Залежно від глибини тріщини змінюється відстань  $l$  і відповідно напруга  $U$ . При зміні сили струму і відстані між електродами отримують залежності  $U = f(l)$  для тріщин різної орієнтації і різних матеріалів. Для цього використовують зразки з імітацією тріщин. Глибину тріщин визначають за допо-

могою приладів ИГТ-2ВТИ, ИГТ-10НК; ХРТ705, РМЖ-4011; РТ-25. Товщину покриття можна визначити за допомогою залежності напруги від товщини покриття. При цьому необхідно точно витримувати відстань  $l$  між потенціальними електродами і співвідношення  $\sigma_0/\sigma_n$ , де  $\sigma_0$  – провідність основи;  $\sigma_n$  – провідність покриття. Найбільш доцільно використовувати цей метод для контролю товщини напівпровідникових покриттів.

## 8.2 Матеріали і устаткування

Установка для проведення контролю електропотенціальним методом. Зразки з тріщинами визначеної глибини та зразки, вражені корозією на різну глибину.

## 8.3 Порядок виконання лабораторної роботи

Визначити падіння потенціалу на зразках з тріщинами різної глибини. Результати вимірювань занести в таблицю. Дані табл. 9.1 описати аналітичним виразом. Користуючись цими результатами визначити глибину тріщини в контрольованій деталі.

Таблиця 8.1 – Залежність падіння потенціалу для датчика і матеріалу від глибини тріщини

Падіння потенціалу, мВ							
Глибина тріщини, мм							

## 8.4 Зміст звіту

Описати основні теоретичні положення відповідно до завдання. Розробити технологію визначення глибини тріщин електропотенціальним методом. На основі теоретичних відомостей про фізичну природу поширення електричного струму пояснити характер отриманих результатів. Зробити висновки відносно отриманих результатів.

## 8.5 Контрольні запитання

1. Суть електропотенціального методу контролю.
  2. Контроль глибини тріщин, якості термічної обробки металів.
  3. Застосування метода вимірювання опору електричному струму для визначення геометричних розмірів.
  4. Методика проведення контролю методом електричного потенціалу.
  5. Що є інформативним параметром в цьому методі?
- Рекомендована література:[3, 4, 5].

## КОНТРОЛЬ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ РЕНТГЕНІВСЬКОЇ ДЕФЕКТОСКОПІЇ

**Мета роботи:** навчитися застосовувати рентгенівські методи для виявлення дефектів в металевих виробах.

### 9.1 Загальні положення

Методи просвічування іонізуючим випромінюванням широко застосовують у машинобудуванні, електроніці, металургії й інших галузях промисловості. Завдяки високій енергії вказане випромінення, здатне проникати крізь речовину, завдяки чому його використовують для просвічування непрозорих об'єктів. Ці методи базуються на законі ослаблення інтенсивності випромінювання, що проходить через об'єкт контролю (ОК). При просвічуванні ОК інтенсивність випромінювання за ОК змінюється залежно від густини матеріалу виробу і густини матеріалу дефектних включень. За результатами виміру інтенсивності випромінювання визначають наявність у ньому дефектів (раковин, включень і т. д.).

Як іонізуюче випромінення часто використовують рентгенівське випромінювання, що поширюється у вакуумі зі швидкістю  $V = 2,99810^8$  м/с (швидкість світла). Це випромінювання при взаємодії з речовиною іонізує його атоми і молекули, тобто під дією цього випромінювання у речовині утворюються позитивні й негативні іони та вільні електрони, кількість яких реєструють детекторами. Надалі замість терміну «іонізуюче випромінювання» вживається «випромінювання».

Для просвічування виробів як джерела випромінювання застосовують рентгенівські апарати (рентгенівські трубки) і радіоактивні ізотопи.

Рентгенівські апарати слугують джерелами випромінювання у широкому діапазоні енергій (від 0,5 до 1000 кеВ). Їх застосовують для просвічування сталених деталей товщиною до 160 мм.

Прискорювачі електронів є джерелами гальмівного випромінювання (до 35 МеВ). Їх застосовують для просвічування сталених виробів великої товщини (більше 450 мм).

Радіоактивні ізотопи є джерелами рентгенівського випромінювання. Їх застосовують для просвічування сталених виробів товщиною до 200 мм.

Енергетичний спектр характеристичного випромінювання має дискретний характер. Для кожного хімічного елемента характерне своє характеристичне випромінювання. Енергія цього випромінювання збільшується в міру зростання атомного номера елемента. На цьому законі базується рентгено-спектральний аналіз матеріалів.

Гальмівне випромінювання виникає при проходженні електрона через поле атома чи ядра, яким він гальмується. Щоб електрон міг пройти близь-

ко від ядра матеріалу мішені, його енергія має бути не менш  $10^5$  еВ. Електрони, що рухаються з уповільненням, відповідно до законів електродинаміки, випромінюють кванти різної енергії. Таким чином, гальмівне рентгенівське випромінювання має безупинний енергетичний спектр. Втрати енергії електронів на утворення гальмівного випромінювання називають радіаційними втратами.

Що меншою є довжина хвилі випромінювання, то більшою є його енергія, а отже, і проникна здатність. Тому короткохвильове випромінювання називають жорстким, а довгохвильове – м'яким.

Рентгенівське випромінювання при проходженні через матеріал контрольованої деталі втрачає свою енергію за рахунок розсіювання і перетворення її в кінетичну енергію електронів. Ослаблення інтенсивності випромінювання залежить від його енергії, товщини і густини просвічуваного матеріалу. Закон ослаблення інтенсивності вузького пучка випромінювання описують формулою:

$$J_d = J_0 e^{-\mu d}, \quad (9.1)$$

де  $J_0$  і  $J_d$  – інтенсивності відповідно перед просвічуванням матеріалом товщиною  $d$  і за ним;

$\mu$  – лінійний коефіцієнт ослаблення, що характеризує відносне зменшення інтенсивності при проходженні променів в цій речовині на відстані довжиною в 1 см. Цей коефіцієнт залежить від атомного номера елемента  $Z$  і довжини хвилі випромінювання  $\lambda$  ( $\mu \sim \lambda^{-3} Z^3$ ).

Іонізуючі випромінювання людина не сприймає органами чуттів. Тому для їхнього виявлення і виміру застосовують різні дозиметричні й радіометричні прилади – детектори.

У дефектоскопах радіографічного і візуального просвічування вони слугують для перетворення радіаційного зображення (неоднорідного по інтенсивності випромінювання, що містить інформацію про дефекти просвічуваного матеріалу чи деталі) у світлотіньове або електронне зображення.

Детектори для перетворення енергії випромінювання в інші види енергії можна розділити на фотографічні, іонізаційні, напівпровідникові, радіолюмінесцентні.

Фотографічні детектори (рентгенівські плівки) використовують для реєстрації випромінювання при радіографічному контролі деталей й індивідуальному дозиметричному контролі працівників, що працюють із джерелами іонізуючих випромінювань.

Детектором рентгенівської плівки є шар фотоемульсії (товщина 0,1 – 0,03 мм), нанесений на гнучку, прозору підкладку з нітроцелюлози чи ацетату-целюлози. Для щільного зчеплення емульсії з підкладкою слугують підшари і спеціальні клеї. Для запобігання від ушкодження на емульсійний шар нанесений тонкий шар (до 0,001 мм) чистого желатину.

Емульсія являє собою желатин, у якому рівномірно розподілені кристали AgBr чи AgCl. Розмірами кристалів (зерен) AgBr чи AgCl і ступенем однорідності їхнього розподілу в емульсійних шарах визначається зернистість плівки.

При опроміненні касети з плівкою в результаті поглинання квантів випромінювання в емульсії утворюються позитивні іони срібла і вторинні електрони. Електрони з визначеною енергією взаємодіють з іонами срібла і нейтралізують їх. На кристалах AgBr утворюються атоми металевого срібла, що є центрами проявлення. Число цих центрів пропорційне інтенсивності випромінювання. При проявленні експонованої плівки відбувається відновлення іонів срібла в металеве срібло у всьому об'ємі кристалів. Металеве срібло надає плівці темне фарбування. При фіксуванні плівки з емульсії видаляються незмінні зерна AgBr. У результаті на плівці виходять почорнілі й світлі (прозорі) місця, що відповідають засвіченим і незасвіченим ділянкам фотоемульсії. Таким чином утворюється негативне зображення просвічуваного об'єкта. Для більшого поглинання випромінювання, і відповідно почорніння плівки, емульсійні шари наносять із двох її сторін.

Ступінь почорніння плівки визначають оптичною густиною, що характеризує непрозорість негатива. Оптична густина дорівнює десятковому логарифму від відношення інтенсивності світлового потоку, що падає на негатив, до інтенсивності світлового потоку, що пройшов через негатив:

$$D_{opt} = \lg(L_0 / L), \quad (9.2)$$

де  $D_{opt}$  – оптична густина потемніння плівки,

$L_0$  і  $L$  – інтенсивності світлового потоку, що падає на негатив та інтенсивність світлового потоку, що пройшов через негатив відповідно.

Оптичну густина почорніння вимірюють за допомогою фотометрів. З формули видно, що оптична густина почорніння зовсім прозорої плівки (коли  $L = L_0$ ) дорівнює нулю. Оптична щільність  $D_{opt} = 2$  відповідає ослабленню світлового потоку в 100 разів.

Почорніння після фотообробки неекспонованої плівки називають вуаллю (через старіння фотоемульсії). Щільність вуалі свіжої плівки допускається не більш 0,2. Гранично припустима щільність вуалі – не більш 0,3.

Роздільною здатністю плівки, називається кількість ліній, що розрізняються на довжині 1 мм. Більшу розрізнявальну здатність мають дрібнозернисті плівки, а більшу чутливість крупнозернисті плівки.

Робота рентгенівської трубки полягає у такому: електронний пучок гальмується вольфрамовою пластинкою, унаслідок чого виникає гальмівне рентгенівське випромінювання. Частка кінетичної енергії  $R$ , що перетворюється в рентгенівське випромінювання, залежить від анодної напруги  $U$  і порядкового номера матеріалу мішені  $Z$ , визначається за формулою

$$R = 1.4 \cdot 10^{-7} ZU, \quad (9.3)$$



з якої видно, що для мішені необхідно застосовувати матеріал з великим  $Z$ . При вольфрамовій мішені ( $Z = 74$ ) і  $U < 100$  кВ  $R \gg 0,1\%$ ; при  $U = 100$  кВ  $R \approx 1\%$ , а при  $U = 2$  МВ  $R = 10\%$ . Більша частина енергії електронів перетворюється в тепло, що відводиться від анода охолоджувачем (олією, водою, газом). В окремих випадках для зменшення розігріву анода трубки виконують з анодом, що обертається.

Ділянка мішені – анода, на якому генерується рентгенівське випромінювання, називається дійсною фокусною плямою трубки, а проекція його в напрямку виходу променів – ефективною фокусною плямою. Трубки з фокусною плямою діаметром від 100 мкм до 1 мм називаються гострофокусними, а трубки з діаметром плями менш 100 мкм – мікрофокусними.

Рентгенівські трубки можуть мати електричне фокусування електронів, яке забезпечує постійний розмір фокусної плями у всьому діапазоні регулювання анодного струму і напруги. Трубки з винесеним анодом, що використовуються для панорамного просвічування, мають додаткове магнітне фокусування. При напругах від 300 кВ до 2 МВ застосовують секційовані (каскадні) трубки, у яких маються проміжні кільцеві електроди з потенціалами, що примусово задаються, і забезпечують вирівнювання електричного поля по довжині трубки. Для запобігання відхилення електронів убік застосовують магнітне фокусування електронного пучка, що дозволяє регулювати розмір фокусної плями.

Інтенсивність випромінювання трубки можна регулювати анодним струмом і напругою. При цьому енергія випромінювання залежить тільки від напруги; від величини анодного струму вона не залежить.

Рентгенівські апарати бувають стаціонарні, пересувні й переносні. Їх поділяють на кабельні та моноблочні (блок-трансформаторні). У кабельних апаратах генератор високої напруги і рентгенівська трубка виконані як окремі блоки, які між собою з'єднані високовольтним кабелем, а в моноблочних вони знаходяться в одному блоці. Моноблочні апарати легше і компактніше кабельних.

Виявлення дефектів при контролі з використанням рентгенівської плівки залежить від якості негатива. Якість негативів оцінюють за допомогою еталонів чутливості. Чутливість радіографічних методів, оцінюють розміром найменшого дефекту, що виявляється, у напрямку просвічування. Її звичайно виражають у відсотках по відношенню до товщини просвічуваного матеріалу:

$$S = \Delta h \times 100 / d + h, \quad (9.4)$$

де  $S$  – чутливість;

$\Delta h$  – глибина найменшої видимої канавки пластинчастого еталона;

$h$  – товщина пластинчастого еталона;

$d$  – товщина ОК.

Еталон чутливості (пластинчастий з канавками) розміщують на контрольованій ділянці деталі при її просвічуванні з боку джерела випромінювання.

Для сталі найвища чутливість рентгенографічного методу становить 1,5–3% від просвічуваної товщини.

Щоб одержати знімок високої якості й забезпечити необхідну чутливість методів просвічування, необхідно врахувати взаємозалежні фактори, що впливають на різкість і контрастність зображення:

- геометричні умови просвічування – фокусна пляма джерела випромінювання; фокусна відстань; поле опромінення і відстань між плівкою і деталлю (дефектом);

- характеристики плівок, підсилюючих екранів і умови фотооброблення плівок;

- інтенсивність розсіяного випромінювання і прийняті міри захисту плівки від цього випромінювання;

- розміри; форму, вид дефекту і його розташування щодо напрямку просвічування;

- жорсткість випромінювання, товщину і густину просвічуваного матеріалу;

- застосування металевих фільтрів і компенсаторів.

Перші три фактори впливають переважно на різкість зображення, а інші три – більше на контрастність, причому фактори 2–4 одночасно впливають на різкість і контрастність.

Загальна нерізкість негатива  $H$  складається з геометричної  $H_g$ , власної (внутрішньої) нерізкості плівки  $H_c$  і нерізкості від розсіяного випромінювання  $H_p$ .

Геометричну нерізкість, пов'язану з лінійним розміром фокусної плями джерела випромінювання  $\Phi$ , відстанню  $b$  від дефекту до плівки, відстанню  $a$  від фокуса до дефекту й фокусною відстанню  $F$ , можна визначити за формулою:

$$H_g = b\Phi / a = (b\Phi) / (F-b) \quad (9.5)$$

З цієї формули видно, що  $H_g$  можна зменшити застосуванням джерел випромінювання з можливо меншим лінійним розміром фокусної плями, зменшенням відстані між деталлю і плівкою, тобто установкою касети з плівкою впритул до ОК, і збільшенням фокусної відстані.

Якщо відстань від дефекту до плівки велика (контрольований об'єкт має велику товщину чи плівку не можна прикласти впритул до поверхні ОК), то зображення дефекту виходить збільшеним з розмитими краями. Дійсний розмір зображення  $l$  у напрямку, перпендикулярному до центрального променя, можна визначити за формулою:

$$l = (al' + b\Phi) / F, \quad (9.6)$$

де  $l'$  – розмір дефекту на негативі.

Надмірне збільшення фокусної відстані з метою зменшення нерізкості спричинює до значного збільшення експозиції. Це знижує продуктивність контролю і може призвести до погіршення якості знімка в результаті тривалої дії на емульсію розсіяного випромінювання. Тому фокусну відстань розраховують залежно від товщини і розміру контрольованих ділянок, виходячи з умови, що густина почорніння зображення на краях становить більш 0,5 густини почорніння його в центрі. Для цього за допомогою свинцевих діафрагм чи коліматорів обмежують кут розбіжності пучка випромінювання (кут між центральним і похилим крайнім променем) до 20–22°.

Негативну дію розсіяного випромінювання ( $H_p$ ) на якість зображення можна знизити у такі способи:

- вибрати оптимальну анодну напругу, із урахуванням з властивостей матеріалу і товщини деталі;
- помістити плівку при зарядці її в касету між двома металевими екранами (зі свинцю, олова або міді), товщину яких вибирають залежно від енергії випромінювання.
- обмежити зону опромінення довгої деталі за допомогою діафрагм, коліматорів або свинцевих листів;
- установити свинцеві листи безпосередньо за касетою для захисту від розсіяного випромінювання, що йде від столу, підлоги і навколишніх предметів.

На знімку краще виявляються добре розкриті й глибокі дефекти, що мають прямолінійні границі, ніж дефекти округлої форми (пори, раковини).

Тріщини важко виявити, якщо невідомий їхній напрямок поширення в глибину металу. Для надійного виявлення тріщин з шириною розкриття до 0,1 мм необхідно, щоб промені відхилилися від площини несучільності не більше ніж на кут у 10–15°. Якщо напрямок поширення тріщини невідомий, проводять просвічування під близькими кутами декілька разів на одній плівці.

Найбільша чутливість методу забезпечується при просвічуванні матеріалів високої густини і невеликої товщини з використанням м'якого випромінювання та висококонтрастної плівки.

При просвічуванні деталей, що мають різкі переходи від тонких перетинів до товстих, виходять дуже контрастні негативи. Зображення тонких частин виходить занадто темним, а товстих – занадто світлим.

Для того, щоб одержати якісний знімок деталей з великим перепадом товщин, вживають таких заходів:

- проводять просвічування при більш високих напругах порівняно з оптимальними;
- у вікна захисного кожуха або радіаційної головки встановлюють металічні фільтри;

- користуються менш контрастними плівками (РМ-1 чи РТ-2 без підсилювального екрана);
- застосовують дві плівки з різною чутливістю і густиною почорніння;
- застосовують спеціальні компенсатори.

Призначення металевих фільтрів – відфільтрувати м'яке випромінювання для одержання однорідного пучка більш жорсткого випромінювання.

Як компенсатори застосовують тверді (підкладки з матеріалу деталі, що доповнюють перетин), сипучі (сталевий дріб), пластичні (мастики) – суміш 3 г сурику і 1 г воску (парафіну) або рідкі – водяні розчини хлористого або йодистого барію. Застосування компенсаторів одночасно із фільтрами дозволяє майже цілком згладити різницю в почорнінні негатива при просвічуванні деталі з великим перепадом товщин за одну експозицію.

Таким чином, до основних правил просвічування, що забезпечують високу чутливість радіографічного методу, належать:

- фокусна пляма джерела випромінювання має бути щонайменша;
- фокусна відстань має бути по можливості максимальна;
- варто застосовувати дрібнозернисту (висококонтрастну) рентгенівську плівку;
- розмір поля опромінення має бути якнайменший;
- рентгенівська плівка має бути розташована по можливості ближче до ОК;
- вісь робочого пучка випромінювання має бути спрямована перпендикулярно плівці;
- варто зменшувати дію розсіяного випромінювання на плівку.

Для кожної деталі, що піддається радіографічному контролю, розробляють технологічну карту, у якій наводять дані про об'єкт контролю (найменування виробу, просвічувана товщина і марка матеріалу, ТУ на відбраковування), вказують мету просвічування, джерело випромінювання, типи і розміри плівок, екранів, що підсилюють, умови просвічування (контрольовані ділянки і розташування їх щодо осі робочого пучка випромінювання, способи захисту плівки від розсіяного випромінювання, застосовувані фільтри, компенсатори), режими просвічування (анодна напруга і струм рентгенівського апарата тощо).

Джерело випромінювання вибирають залежно від товщини і густини контрольованого матеріалу.

При виборі рентгенівських плівок потрібно виходити з того, що кращу якість знімка забезпечують плівки I і II класів, тобто плівки РТ5 і РТ-4. Чутливість плівки підвищується відповідно при переході від I до IV класу плівок.

При масовому контролі деталей знаходять застосування спеціальні електронні прилади – експонетри, дія яких базується на вимірі експозиційної дози випромінювання, що падає на плівку. У цих приладах детекторами випромінювання слугують напівпровідникові кристали, що при просвічуванні розміщують під плівку в тому місці, де контролюється якість виробу. Прилади градуйовані для різних типів плівок і перед просвічуван-

ням налагоджуються на дозу, що забезпечує оптимальну густину знімка. Після досягнення цієї дози прилад автоматично виключає джерело випромінювання.

Підготовка деталей до просвічування охоплює такі роботи: очищення деталей, зовнішній огляд, розмітку просвічуваних ділянок і їхню нумерацію, вибір напрямків просвічування, типу й формату плівок, касет. Крім цього, перед просвічуванням визначають необхідні пристосування для раціональної установки деталей, касет із плівкою, номерних знаків і т. ін.

Зарядку касет (м'яких чи твердих) здійснюють у фотокімнаті при темно-червоному світлі. Для забезпечення щільного прилягання флуоресціювальних екранів до плівки краще користуватися твердими касетами. М'які касети застосовують, якщо при установці плівку необхідно згинати.

При просвічуванні відповідальних виробів у касету звичайно вкладають дві плівки з різною чутливістю, що полегшує подальшу розшифровку знімків.

За допомогою пристосувань деталь розміщують під джерелом випромінювання так, щоб вісь робочого пучка випромінювання попадала на середину просвічуваної ділянки. До поверхні, крізь яку виходять рентгенівські промені, прикріплюють касету з плівкою так, щоб плівка по можливості більш щільно прилягала до поверхні деталі. Для кріплення касет використовують липкі стрічки, струбцини тощо. На деталь чи вільні краї касети укладають еталони чутливості. Їх розміщують збоку деталі, зверненої до джерела випромінювання так, щоб канавки прилягали до поверхні контрольованої деталі. Непросвічувані ділянки деталі закривають листовим свинцем і за необхідності встановлюють на шляху випромінювання діафрагми, фільтри, а також використовують компенсатори.

Для просвічування малогабаритних однотипних зварених і литих деталей використовують напівавтомати, що дозволяють механізувати й автоматизувати більшість трудомістких операцій просвічування.

Для підвищення продуктивності робіт з обробки плівок застосовують автоматичні й напівавтоматичні пристрої, що забезпечують перенос і витримку рамок із плівками в баках з проявником, фіксажем і водою, а також сушіння в сушильній шафі.

Розшифрування радіографічних знімків (негативів) складається в основному з трьох етапів: оцінки якості зображення, аналізу зображення і пошуку на ньому дефектів, складання висновку про якість контрольованого виробу. Складати висновок за результатами просвічування можна тільки по знімках, на яких чітко видні зображення просвічуваного об'єкта, еталона чутливості і цифр знаків маркування.

На знімку не має бути ніяких дефектів.

Найбільш розповсюдженим способом розшифрування є порівняння негатива з контрольними знімками, на яких можуть бути зафіксовані аналогічні вироби з дефектами, підтвердженими металографічним аналізом, чи ескізи виробів з позначенням на них місць можливих дефектів. З метою пошуку дефектів (локальної зміни густини почорніння) негативи огляда-

ють на негатоскопах з матовим склом. Для пошуку дрібних дефектів, негативи аналізують при частковому чи загальному затемненні. Для огляду застосовують лупу чи спеціальний проекційний пристрій, що забезпечує одержання високоякісного збільшеного зображення на рентгенограмах. Щоб уникнути пропуску дефектів, необхідно послідовно аналізувати все зображення, а не випадкові його зони. При виявленні нового дефекту потрібно щоразу визначати причину його появи на знімку: чи не є це дефектом плівки або забрудненням скла негатоскопу. Надійність і продуктивність радіографічного контролю можна підвищити за допомогою пристроїв для автоматичної розшифровки радіографічних знімків

Висновок про якість деталі варто складати тільки відповідно до ТУ на бракування виробу.

## **9.2 Матеріали і устаткування**

Рентгенівський апарат. Касети з плівками. Деталі для контролю. Еталони.

## **9.3 Порядок виконання лабораторної роботи**

За попередньо розробленою технологією провести дослідження якості композиційного матеріалу рентгенографічним методом. Розшифрувати отримані знімки.

## **9.4 Зміст звіту**

Описати основні теоретичні положення відповідно до завдання. Розробити технологію контролю деталей з композиційних матеріалів рентгенографічним методом. На основі теоретичних відомостей про фізичну природу проходження рентгенівських променів крізь різні матеріали пояснити результати розшифровки отриманих знімків. Зробити висновки щодо отриманих результатів.

## **9.5 Контрольні запитання**

1. Основні властивості випромінювання.
2. Джерела випромінювання.
3. Закономірності ослаблення інтенсивності випромінювання.
4. Детектори випромінювань.
5. Конструкція й робота рентгенівської трубки.
6. Рентгенівські апарати.
7. Фактори, що впливають на різкість і контрастність зображення.
8. Основні правила просвічування, що забезпечують високу чутливість радіографічного методу.
9. Розшифровка радіографічних знімків (негативів).

10. Для чого застосовують методи просвічування у машинобудуванні?
  11. Завдяки чому використовують випромінювання для просвічування непрозорих об'єктів ?
  12. Який спектр (гальмівний чи характеристичний) випромінювання і чому використовується в дефектоскопії?
  13. На чому базується застосування рентгенівської плівки для виміру ступеня ослаблення інтенсивності випромінювання під час радіографічного контролю?
  14. Які заходи вживають для того, щоб одержати якісний знімок деталей з великим перепадом товщин?
  15. Як проводять контроль деталей складної форми з отворами?
  16. Які дефекти можуть бути виявленими методами просвічування?
  17. Яким чином виявляють тріщини, напрямом поширення яких невідомий?
- Рекомендована література: [1, 10].

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

- АБ – акустичний блок  
АК – акустичний контакт  
АФ і РРК – автоматична фіксація і розшифровка результатів контролю  
ЧРЧ – часове регулювання чутливості  
ГСІ – генератор синхронізувальних імпульсів  
ГЗІ – генератор зондувальних радіоімпульсів  
ДП – датчик шляху  
ЕПТ – електронно-променева трубка  
ІК – інформаційний кабель  
МАБ – механо-акустичний блок  
МП – механічне пристосування  
МВС – метод вихрових струмів  
НД – нормативна документація  
ОК – об'єкт контролю  
ОШЗ – біляшовна зона  
ПЕП – п'єзоелектричний перетворювач  
РАЗМ – умовний розмір протяжного дефекту, що характеризує його ступінь розвитку по вертикальній складові перетину шва  
РС ПЕП – окремо суміщений п'єзоелектричний перетворювач  
СО – стандартний зразок  
СОП – стандартний зразок підприємства  
УЗ – ультразвуковий  
УЗК – ультразвуковий контроль  
УІУ – установка вимірювальна ультразвукова  
 $t$  – номінальна товщина зварювальних елементів, мм  
 $b$  – ширина валика підсилення зварного шва  
 $k$  – розмір катета в тавровому, кутовому і напусткового зварних з'єднань  
 $\Delta L$  – умовна протяжність дефекту  
 $\Sigma D$  – сумарна протяжність дефекту (сукупність дефектів)  
 $S_{\text{деф}}$  – еквівалентна площа дефекту  
 $S_{\text{брак}}$  – максимально допустима еквівалентна площа дефекту  
 $S_k$  – мінімальна еквівалентна площа, яка фіксується



## СЛОВНИК НАЙУЖИВАНІШИХ ТЕРМІНІВ

Контроль – *Control*  
Пенітрант – *Penitrant*  
Дефектоскопія – *Flawdetection*  
Дефект – *Defect*  
Капіляр – *Capillary*  
Магнітопорошковий метод – *Magneticmethod*  
Магнітне поле – *The magneticfield*  
Напруженість поля – *Thefieldstrength*  
Капілярна дефектоскопія – *Capillaryflawdetection*  
Струмовихровий метод – *Vortexcurrentmethod*  
Ультразвуковий контроль – *Ultrasoniccontrol*  
Міцність – *Strength*  
Електропотенціальний метод – *Electropotentialmethod*  
Рентгенівська дефектоскопія – *X-raytesting*  
Генератор зондувальних радіоімпульсів - *Generatorprobingradiopulses*  
Глибиномір – *Depthgauge*  
Фотореєстратор – *Photoregistrar*  
ЕОМ – *Computer*  
Електроакустичний перетворювач – *Electroacoustictransducer*  
Зварне з'єднання – *Weld*  
Структура матеріалу – *Thestructureofthematerial*  
Корозія – *Corrosion*  
Тріщини – *Cracks*  
Ізотоп – *Isotope*  
Детектор – *Detector*  
Фотоемульсія – *Emulsion*  
Плівка – *Film*  
Люмінесцентний метод – *Fluorescentmethod*  
Проявник – *Developer*  
Кольорова дефектоскопія – *Colordestructivetesting*  
Люмінесцентно-кольорова дефектоскопія – *Fluorescentcolor-flawdetection*  
Намагнічування – *Magnetization*  
Магнітний порошок – *Magneticpowder*  
Котушка – *Coil*  
Деталь – *Detail*

## ЛІТЕРАТУРА

1. Неразрушающий контроль металлов и изделий. Справочник / Под ред. Г.С. Самойловича. – М. : Машиностроение, 1976. – 456 с.
2. Неразрушающий контроль. В 5 кн. Кн. 2. Акустические методы контроля : практическое пособие / И. Н. Ермолов, Н. П. Алёшин, А. И. Потапов ; под ред. В. В. Сухорукова. – М. : Высш. шк., 1991. – 288 с.
3. Белокур И. П. Дефектоскопия материалов и изделий / И. П. Белокур, В. А. Коваленко – К. : Техника, 1989. – 192 с.
4. Ермолов И. Н. Методы и средства неразрушающего контроля качества : учебное пособие для вузов / И. Н. Ермолов, Ю. Я. Останин. – М. : Высшая школа, 1988. – 367 с.
5. Биргер И. А. Техническая диагностика / И. А. Биргер. – М. : Машиностроение, 1978. – 240 с.
6. Гурвич А. К. Неразрушающий контроль / А. К. Гурвич, И. Н. Ермолов, С. Г. Сажин. – М. : Высшая школа, 1992, кн. 1. – 348 с.
7. Алешин Н. П. Ультразвуковая дефектоскопия : справочное пособие / Н. П. Алешин, В. Г. Лупачев. – Мн. : Высш.шк., 1987. – 271 с.
8. Кретов Е. Ф. Ультразвуковая дефектоскопия в энергомашиностроении : справочное пособие. – СПб. : Изд. «Радиоавионика», 1995. – 316 с.
9. Выборнов Б. И. Ультразвуковая дефектоскопия / Выборнов Б. И. – М. : Металлургия, 1985. – 256 с.
10. Алешин Н. П. Радиационная, ультразвуковая и магнитная дефектоскопия металлоизделий / Н. П. Алешин, В. Г. Щербинский. – М. : Высшая школа, 1991. – 271 с.
11. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий : справочник / Под ред. В. А. Ключева. – М. : Машиностроение, 1986. – 488 с.
12. Гурвич А. К. Неразрушающий контроль / А. К. Гурвич, И. Н. Ермолов, С. Г. Сажин. – М. : Высшая школа, 1992. – 348 с.
13. Конспект лекцій «Контроль якості зварювання» / Уклад. Прохоров В. І. – 2010. – 171 с.

## Додаток А

Таблиця – Значення швидкості розповсюдження ультразвукових коливань (УЗК) у деяких конструкційних марках сплавів на основі заліза

Марки сплавів	Значення швидкості розповсюдження УЗК, м/с	Температурний коефіцієнт швидкості розповсюдження УЗК, м/с × °С
Залізо «Армко»	5930	
Сталь 3	5930	
Сталь 10	5920	
Сталь У10	5925	
Сталь 40	5925	
Сталь У8	5900	
Сталь 50	5920	
Сталь 45Л-1	5925	
СтальШХ-15	5965	
Сталь 40Х13	6070	
Сталь 30ХГСА	5915	
Сталь 30ХМА	5950	
Сталь 08Х17Н14М3	5720	
Сталь 12Х18Н9Т	5820	
Сталь 12Х18Н10Т	5760	0,5–0,7
Сталь 10Х11Н23Т3МР	5650	
Сталь20Х12ВНМФ	5990	
Сталь ХН10МДТЮ	5750	
Сталь 30ХРА	5900	
Сталь Н70МФВ	5900	
Сталь ХН77ТЮР	5990	
Сталь ХН35ВТ	5680	
СтальХН70ВМТЮ	5930	
Сталь ХН70ВМФИЮ	5930	
Сталь ХН77ТЮР	6080	
Сталь 10ХНМА	5600	
Сталь Х15Н15ГС	5400	
Сталь 20ГСНДМ	6060	

## Додаток Б

Таблиця – Значення швидкості розповсюдження ультразвукових коливань (УЗК) у деяких конструкційних марках сплавів на основі алюмінію

Марки сплавів	Значення швидкості розповсюдження УЗК, м/с	Температурний коефіцієнт швидкості розповсюдження УЗК, м/с × °С
Д16	6380	
Д16АТ	6365	
Д16ТПП	6420	
В95	6280	
В95ТПП	6330	
АМГ2	6390	
АМГ2И	6390	
АМГ3	6400	1-1,2
АМГ5	6390	
АМГ5И	6380	
АМГ6	6380	
АМГ6И	6405	
АД	6360	
АД1	6385	
Д1	6365	
АМЦ	6405	
АК4-1	6390	

Таблиця – Значення швидкості повздовжні хвилі  $C_1$  у титанових сплавах на частоті 10МГц

Марки сплавів	$C_1$ , м/с	Марки сплавів	$C_1$ , м/с
ВТ1-0	6250	ВТ9	6310
ВТ3-1	6290	ВТ16	6320
ВТ4-1	6290	ВТ22	6370
ВТ5	6240	ОТ4	6330
ВТ5-1	6240	ОТ4-1	6310
ВТ8	6310		

Таблиця – Затухання ультразвукових хвиль у рідинах при 20 °С

Середовище	$f$ , МГц	$\sigma / f^2$ , $10^2 \text{ м}^{-1} / \text{МГц}^{-2}$
Вода	7...250	2,5
Масло трансформаторне	1...5	130
Гліцерин	0,5...4	250

Додаток В

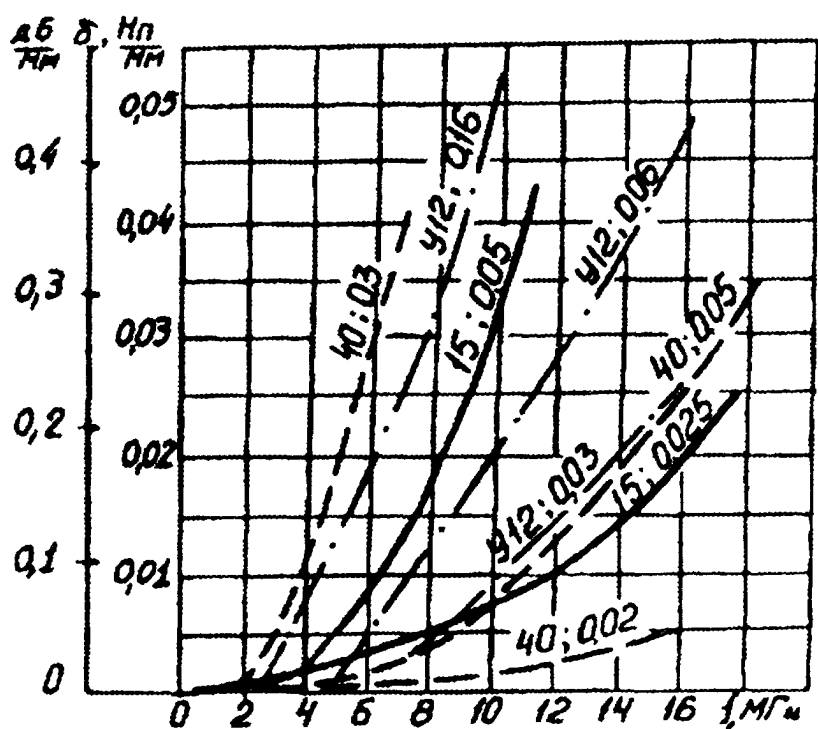


Рисунок В.1 – Коефіцієнт затухання в метрах (дані хімічні символи, типи хвиль, середні розміри зерен в мм)

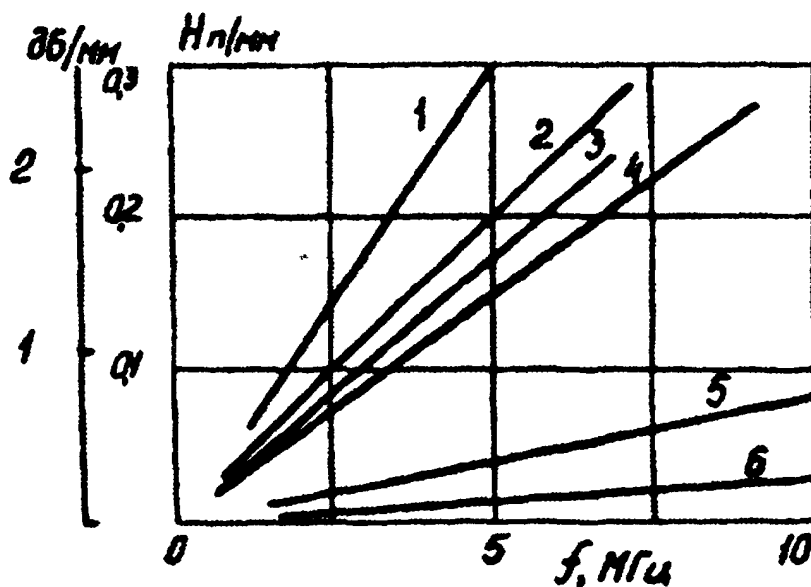


Рисунок В.2 – Коефіцієнт затухання повздовжніх хвиль у неметалах:  
 1 – фторопласт; 2 – затверділа епоксидна смола; 3 – ебоніт;  
 4 – смола К-153; 5 – органічне скло; 6 – полістирол

*Навчальне видання*

**Савуляк Валерій Іванович  
Бакалець Дмитро Віталійович  
Поступайло Олександр Володимирович**

## **ДІАГНОСТИКА МАТЕРІАЛІВ, КОНСТРУКЦІЙ ТА ЯКОСТІ ПОКРИТТІВ**

Лабораторний практикум

Рукопис оформлено В. Савуляком

Редактор О. Ткачук

Оригінал-макет виготовлено О. Ткачуком

Підписано до друку 20.03.2018 р.  
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.  
Гарнітура Times New Roman.  
Друк різнографічний. Ум. друк. арк. 4,62.  
Наклад 50 (1-й запуск 1-20). Зам. № 2018-065.

Видавець та виготовлювач  
інформаційний редакційно-видавничий центр.  
ВНТУ, ГНК, к. 114.  
Хмельницьке шосе, 95,  
м. Вінниця, 21021.  
Тел. (0432) 65-18-06.  
**press.vntu.edu.ua;**  
*E-mail:* kivc.vntu@gmail.com.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.