

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних робіт з дисципліни
«Діагностика та дефектоскопія матеріалів і виробів»
для студентів спеціальності 132 «Матеріалознавство»,
денної та заочної форм навчання

2022

Методичні вказівки до практичних робіт з дисципліни «Діагностика та дефектоскопія матеріалів та виробів» для студентів спеціальності 132. Матеріалознавство», денної і заочної форм навчання /Укл.: В.С. Вініченко – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2022. 92 с.

Укладач: Вініченко В.С, доцент, канд. техн .наук

Рецензент: Ольшанецький В.Ю., проф., д.т.н.

Відповідальний
за випуск: Ольшанецький В.Ю, проф., д.т.н.

Затверджено
на засіданні кафедри
«Фізичне матеріалознавство»

Протокол № 7 від 29.04.22

Рекомендовано до видання
НМК Інженерно-фізичного
факультету

Протокол № 8

Від «10» травня 2022

ЗМІСТ

Вступ	4
Практична робота № 1 Виявлення дефектів (несуцільностей) методом капілярної дефектоскопії.....	6
Практична робота № 2 Магнітопорошковий метод контролю.....	14
Практична робота № 3 Дослідження методів контролю, що базуються на ефекті Баркгаузена	25
Практична робота № 4 Струмовихровий метод контролю.....	30
Практична робота № 5 Апаратура для ультразвукового контролю.....	41
Практична робота № 6 Вимірювання товщини виробів із застосуванням ультразвукових методів контролю.....	50
Практична робота № 7 Визначення пружних характеристик матеріалів.....	58
Практична робота № 8 Контроль структури матеріалів із застосуванням ультразвукових методів	61
Практична робота №9 Контроль міцності неметалевих матеріалів ультразвуковим методом.....	69
Практична робота № 10 Електропотенціальний метод контролю деталей	73
Практична робота № 11 Контроль деталей методом рентгенівської дефектоскопії	76
Література	89
Додаток А Правила із техніки безпеки при виконанні лабораторних робіт.....	90

ВСТУП

При вивченні даної дисципліни розглядаються методи проведення дефектоскопії та діагностики матеріалів і виробів. Викладені основи дефектоскопії та діагностування матеріалів і деталей з застосування сучасних технологій та приладів, для підвищення експлуатаційної надійності виробів. Знання та навички набуті при вивченні даної дисципліни забезпечать майбутньому фахівцеві впевненість у вирішенні виробничих питань щодо вибору методів дефектоскопії та методики проведення діагностики матеріалів і виробів для забезпечення їх високої якості та надійності в умовах експлуатації.

Перелік компетентностей, яких набуває студент при вивченні.

Загальні компетентності:

- здатність до системного мислення, аналізу та синтезу КЗ.06;
- навички використання інформаційних і комунікаційних технологій КЗ.07.

фахові компетентності:

- здатність продемонструвати розуміння проблем якості матеріалів та виробів КС.02;
- здатність продемонструвати розуміння питань використання технічної літератури та інших джерел інформації в галузі матеріалознавства КС.03;
- здатність працювати в групі над великими інженерними проектами у сфері матеріалознавства КС.04;
- здатність застосовувати системний підхід до вирішення інженерних матеріалознавчих проблем КС.05;
- здатність виконувати дослідницькі роботи в галузі матеріалознавства, обробляти та аналізувати результати експериментів, складати звіти КС.12;
- здатність дотримуватися професійних і етичних стандартів КС.14.

Результати навчання:

- уміти експериментувати та аналізувати дані ПРН 09;
- здатність поєднувати теорію і практику для розв'язування інженерного завдання ПРН 10;
- знати інженерні дисципліни, що лежать в основі спеціальності, на рівні, необхідному для досягнення інших результатів програми, в тому числі певна обізнаність в їх останніх досягненнях ПРН 13;

-уміти використовувати базові методи аналізу речовин, матеріалів та відповідних процесів з коректною інтерпретацією результатів ПРН 24.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 1

Виявлення дефектів (несуцільностей) методом капілярної дефектоскопії

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

1.1 Загальні положення

Методи капілярної дефектоскопії знайшли широке застосування при контролі деталей із латуней, корозійностійких сталей, алюмінієвих, магнієвих та титанових сплавів, пластмас, пористого бетону і т. інш. З цих методів найбільш поширені кольорова, люмінесцентна і люмінесцентно-кольорова дефектоскопії. Усі вони базуються на капілярних явищах.

Дефекти типу тріщин мають малу ширину і велику, в порівнянні з шириною, глибину, що робить їх подібними до капілярних судин, що мають своєрідну властивість «всмоктувати» рідини, які змочують матеріал контролюємої деталі.

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

Індикаторний рисунок набагато ширше границь дефекту і має яскравий колірний контраст, що полегшує визначення місця його розташування, форми і т.інш.

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

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

При *люмінесцентній дефектоскопії* використовують пенітранти, що здатні люмінісцирувати під впливом ультрафіолетових променів. Виявлення дефектів проводиться за допомогою ультрафіолетового випромінювання.

Люмінесцентно-кольорова дефектоскопія включає елементи люмінісцентної і кольорової дефектоскопії. В цьому випадку застосовується пенітрант, що здатний не тільки люмінісцирувати в ультрафіолетових променях, але і 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 і порожнини дефектів перед контролем повинні бути ретельно очищені. Відповідна підготовка поверхонь деталей повинна 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 тріщини, перешкоджають проникненню в них індикаторних рідин і тим самим знижують інтенсивність фарбування чи люмінесценцію малюнка дефекту. Треба враховувати і вплив покриттів (гальванічних, лако-фарбових, окисних і т. д.), що знижують ефективність капілярних методів контролю. Тому при виборі способу підготовки деталей до контролю необхідно враховувати характер забруднення, вид покриття, вид обробки поверхні і природу матеріалу.

Існують наступні 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 наступними способами: капілярним, капілярним з попереднім підгрівом проникаючої рідини, вакуумним, компресійним, ультразвуковим.

Найбільш простими способами є капілярний і капілярний з попереднім підгрівом рідини. Сутність їх полягає в тому, що заповнення тріщини відбувається під дією капілярних сил. Підгрів 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 робити й очищення їх від забруднення.

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

Для вилучення пенітранту, що залишився в порожнині дефекту, і створення фону для виявлення самого дефекту відразу ж після видалення пенітранту наносять проявник. Способи нанесення проявника вибирають в залежності від необхідної чутливості контролю, продуктивності, від умов контролю, складності форми деталей і т. інш. 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 при тепловому, вакуумному, вібраційному чи іншому впливі на деталі.

Огляд деталей проводять або при звичайному освітленні, або в ультрафіолетових променях в залежності 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), міжкристалітна корозія виявляється у вигляді плям або розмитих смуг, пори – у вигляді окремих крапок.

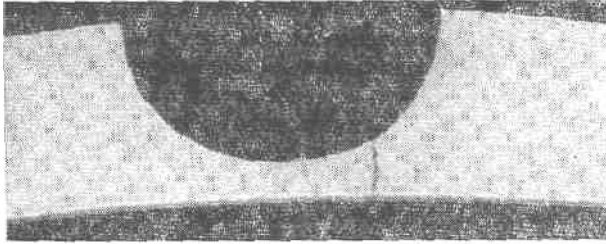


Рисунок 1.1 – Дефект, виявлений кольоровим методом

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

Із деталей, визнаних придатними, повинні бути вилучені проявник і інші матеріали, застосовані при дефектоскопії. При виборі способу вилучення враховують характер застосованих матеріалів, умови контролю, інтенсивність технологічного процесу і т.інш.

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

Під чутливістю капілярної дефектоскопії розуміють розмір мінімального по величині (ширині і глибині порожнини в поперечному перерізі) дефекту, що виявляється даним методом. Чутливість залежить від якості проведення кожної технологічної операції контролю, застосованих матеріалів, освітлення, температури навколишнього середовища і т. інш. Звичайно вважають, що чутливість люмінесцентного методу складає по ширині 10 мкм і по глибині 30—40 мкм, кольорового – по ширині 1—2 мкм і по глибині 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 використовуваних матеріалів.

До недоліків методів капілярної дефектоскопії відносяться: 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, розпилювачі і т. ін., 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, при необхідності контролю невеликих ділянок без розбирання контрольного вузла. Стаціонарне устаткування використовується при масовому контролі деталей на ділянках капілярної дефектоскопії. До комплектів переносних і пересувних дефектоскопів входять металеві флакони з дефектоскопічними матеріалами (рідинами, фарбами, розчинниками), переносні лампи, фарборозпилювачі, щітки, лупи та контрольні зразки.

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

Для виявлення поверхневих дефектів з шириною розкриття більше 10 мкм зручний комплект ИФХ-КОЛОП-4 (ТУ-88 УССР 206-39-87). На відміну від матеріалів розроблених на основі легколетких розчинників, що робить їх пожежонебезпечними і шкідливими для здоров'я дефектоскопістів, в комплект ИФХ-КОЛОП-4 ТУ-88 УССР206-39-87 входять пенітрант і проявник повністю пожежобезпечні і не токсичні. 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-КОЛОП-4 можна застосовувати для контролю деталей, виготовлених із сплавів чорних і кольорових металів та неметалевих матеріалів (кераміка, композити). Даний набір постачається в аерозольних упаковках, починаючи з об'єму 0,5 л.

Стаціонарні установки включають 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, в яких автома-

тизовані усі технологічні операції, за виключенням візуального огляду, який проводить оператор.

Огляд деталей при люмінесцентній і люмінесцентно-кольоровій дефектоскопії проводиться при ультрафіолетовому освітленні. При цьому 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 розроблені і випускаються промисловістю лампи для люмінесцентної дефектоскопії, що не потребують застосування світлофільтрів.

1.2 Завдання на підготовку до практичної роботи

Для виконання практичної роботи та пояснення результатів експериментів необхідно пропрацювати такі питання:

1. Сутність фізичних процесів, що відбуваються при контролі капілярними методами.
2. Фізика взаємодії рідин з твердими речовинами та капілярні явища.
3. Фізичні аспекти впливу освітлення та кольору на чутливість методів контролю з застосуванням як чутливого елемента ока.
4. Вплив технологічних факторів на вірогідність результатів капілярного контролю.

1.3 Контрольні питання

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 достеменність результатів контролю деталей капілярним методом?
7. Як відрізнити реальні дефекти від уявних (несправжніх).

8. Переваги та недоліки капілярних методів.

1.4 Матеріали і устаткування

Зразки і деталі з дефектами. Набір ИФХ-КОЛОП-4.

1.5 Вказівки з техніки безпеки

Роботу виконують з дозволу викладача у відповідності з інструкціями із ТБ (додаток А). Крім того оскільки при капілярній дефектоскопії використовують деякі токсичні матеріали і необхідно експлуатувати електроустановки, для запобігання професійних захворювань, отруєнь, попередження травматизму необхідно суворо дотримуватись правил техніки безпеки і проводити технічні, санітарно-гігієнічні і організаційні заходи щодо охорони праці. Усі роботи із застосуванням розчинників, пенітрантів і проявників повинні виконуватись тільки на робочих місцях, які мають витяжну вентиляцію. Нанесення порошків, суспензій, фарб за допомогою розпилювачів проводити в спеціальній камері. Застосовувати індивідуальні заходи захисту органів дихання, а також спецодяг, окуляри. Робітник повинен застосовувати ниткові і (зверху) гумові рукавички.

1.6 Порядок виконання практичної роботи

На деталях виявити найбільш ймовірні місця утворення тріщин. Розробити технологію дефектоскопії із застосуванням комплексу ИФХ-КОЛОП-4. У відповідності з розробленою технологією обробити зразки та найбільш ймовірні місця утворення тріщин на деталях. Проаналізувати індикаторний рисунок, що утворився на зразках і деталях. Вказати які із виявлених дефектів дійсні і які уявні.

1.7 Зміст звіту

Показати актуальність впровадження капілярного методу контролю. Описати основні теоретичні положення відповідно до завдання

та технології проведення контролю. Пояснити внаслідок чого можуть виникати дефекти в зразках та виробках і чому метод капілярної дефектоскопії полегшує виявлення дефектів. Зробити висновки щодо отриманих результатів.

1.8 Література

1. Неразрушающий контроль металлов и изделий. Справочник / Под ред. Г.С. Самойловича – М.: Машиностроение, 1976. – 456с. С. 59 – 129.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 2

Магнітопорошковий метод контролю

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

2.1 Загальні положення

Руйнування в деталях в багатьох випадках розпочинаються з поверхні. Тому працездатність деталей машин, їх якість і довговічність в значній мірі визначаються станом поверхні і наявністю дефектів у зовнішніх шарах матеріалу. Особливо небезпечні поверхневі дефекти типу тріщин, що можуть утворюватись при термічній, хіміко-термічній, механічній обробці 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).

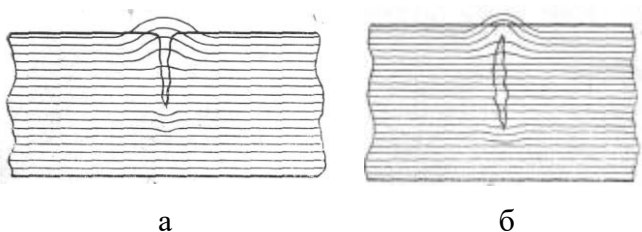


Рисунок 2.1 – Поля розсіювання, обумовлені поверхневими (а) і підповерхневими (б) дефектами

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

При намагнічуванні, зразків або виробів в місцях із поверхневи-

ми дефектами, виникають пари магнітних полюсів, що діють подібно маленьким магнітам, що утримують на поверхні магнітний порошок. В 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 при візуальному контролі.

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

Слід зазначити, що 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 (мідь, латунь, алюміній), пропущений усередину деталі із порожниною (кільце, циліндр, гільза).

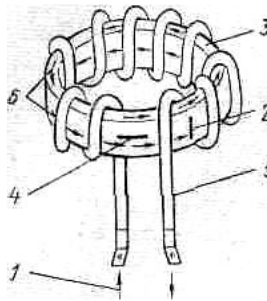
Контроль внутрішніх поверхонь деталей проводять тільки цим способом.

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).

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

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).

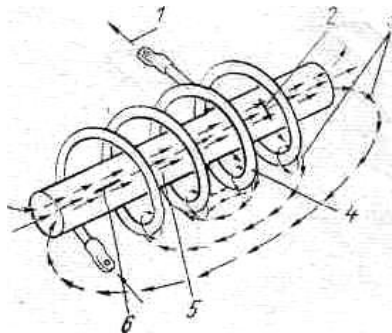


- 1 — напрямок струму; 2 — тріщина уздовж твірної (виявляється);
 3 — радіальна тріщина на торці (виявляється);
 4 — кільцева тріщина (не виявляється); 5 — тороїд;
 6 — магнітні силові лінії

Рисунок 2.2 – Схема намагнічування виробів за допомогою тороїдної обмотки

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

Довгі деталі намагнічують одразу по всій довжині при просуванні 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° (виявляється);
 6 — повздожжня 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° (обертове поле), або впливом одного змінного та одного постійного поля (гвинтове поле). При цьому одне з магнітних полів може бути циркулярним, а друге – позовжнім. При вказаному способі намагнічування контроль деталей необхідно здійснювати в прикладеному полі.

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

Магнітопорошковий контроль проводиться або способом прикладеного магнітного поля, або по залишковій намагніченості. При перевірці деталей по залишковій намагніченості технологія контролю складається з наступних операцій: підготовка деталей до контролю, намагнічування, нанесення суспензії, огляд, розшифровка результатів контролю і визначення відповідності ТУ, розмагнічування і контроль розмагніченості.

Контроль по залишковій намагніченості може проводитися тільки для деталей, виготовлених із магнітотвердих матеріалів з високою залишковою намагніченістю. Цей спосіб контролю має наступні переваги перед способом прикладеного поля:

зручність при огляді деталі, так як її можна помістити в будь-яке положення 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 з струмопровідником, оскільки для намагнічування витрачається мало часу.

При перевірці способом прикладеного магнітного поля намагнічування, нанесення суспензії й основну частину огляду роблять одночасно.

Контроль способом прикладеного поля проводять у таких випадках: деталь виконана з магніот'якого матеріалу або має складну фор-

му; необхідно контролювати дефекти, розташовані під поверхнею на глибині більш 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; при необхідності контролювати великогабаритні деталі за допомогою приставних електромагнітів або переносних електроконтактів.

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

Поливання застосовують як при контролі по залишковій намагніченості, так і в прикладеному 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, що люмінісцирують під дією ультрафіолетового випромінювання. Крім порошків можна користуватися пастами. Пасту випускаються для 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 олії (МК чи 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 проводять відразу після витягування їх з ванни, якщо застосовувалася водяна чи газова суспензія, або через 1 хв у випадку застосування масляної суспензії.

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

При застосуванні чорних порошків і паст деталі оглядають під лампами денного світла з розсіяним випромінюванням. При магнітно-люмінесцентному контролі застосовують ультрафіолетові лампи. Освітленість деталі при огляді під лампами денного світла повинна

бути не менше 500 люкс, при огляді під ультрафіолетовими лампами – не менше 1000 люкс.

Осадження магнітного порошку може відбуватися як у місцях порушення суцільності, так і на уявних 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.

Тріщини втоми 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.

Волосовини 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 контроль у прикладеному полі доцільніше, ніж при його відсутності навіть при контролі загартованих магнітотвердих матеріалів.

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

Неметалеві включення виявляються завдяки, ланцюжків або точковим скупченням магнітного порошку.

Магнітний малюнок з'являється при 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 грубого механічного оброблення.

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 при 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, проводити намагнічування і контроль деталей в 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.

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

У більшості випадків при контролі однотипних деталей проводять 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 магнітопорошкового контролю включає затиснення деталі в контактному пристрої, пропускання струму, нанесення суспензії чи сухого порошку, звільнення деталі з контактної пристрою.

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, сутність яких зводиться до наступного: деталь поміщають у змінне магнітне поле, напруженість якого змінюється від заданого максимального значення до нуля.

Деталі, намагнічені при контролі в постійному магнітному полі краще розмагнічувати в змінному полі низької частоти (близько 5 Гц.) або комутуванням їх 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 — відключен-

ня струму можна робити тільки після видалення деталі із соленоїда на відстань не менш 1 м.

Для кращого розмагнічування необхідно, щоб кожна ділянка деталі, що 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 поступовим зменшенням його сили до нуля. Цей спосіб застосовують в основному при розмагнічуванні 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 кожному групі деталей повинні 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 Завдання на підготовку до практичної роботи

1. Класифікація і області застосування магнітних методів контролю.
2. Сутність фізичних процесів, що відбуваються при контролі магнітними методами.
3. Способи намагнічування і контролю деталей.
4. Магнітні характеристики сталей.
5. Сутність магнітопорошкового контролю при виявленні тріщин.
6. Фактори, що впливають на чутливість магнітопорошкового методу.
7. Типи магнітних дефектоскопів і їх технічні характеристики.
8. Фізичні аспекти впливу освітлення та кольору на чутливість методів контролю із застосуванням ока як чутливого елемента.

9. Вплив технологічних факторів на вірогідність результатів контролю.

2.3 Контрольні питання

1. Типи дефектів для виявлення яких доцільно застосовувати магнітні методи.
2. Вимоги до деталей, що контролюють магнітними методами.
3. Типи магнітних дефектоскопів та їх характеристики і призначення.
4. Підготовка деталей до проведення контролю.
5. Сутність способів намагнічування деталей для контролю.
6. Способи нанесення магнітного порошку.
7. Способи розмагнічування деталей.
8. У яких випадках розмагнічувати деталі необов'язково?
9. Способи підвищення чутливості магнітних методів.
10. Переваги та недоліки магнітних методів.

2.4 Матеріали і устаткування

Зразки та деталі. Магнітний дефектоскоп. Емульсія магнітного порошку.

2.5 Вказівки з техніки безпеки

Роботу виконують з дозволу викладача після вивчення конструкції дефектоскопу, технології контролю і у відповідності з інструкціями із ТБ (додаток А). Крім того при роботі на магнітних дефектоскопах необхідно виконувати наступні правила.

Дефектоскоп повинен бути надійно заземлений, або занулений.

Забороняється торкатися до частин приладу які знаходяться під напругою, не залежно від її величини.

При намагнічуванні застосовувати захисні окуляри

Деталі, що контролюють, повинні бути надійно закріплені в пристосуванні для намагнічування.

Роботи, що пов'язані з нанесенням порошку, слід виконувати з застосуванням рукавиць.

Ганчірки для витирання суспензії зберігати в металевому ящику. Обов'язково видаляти їх після закінчення роботи.

Рядом з дефектоскопом необхідно мати вогнегасник.

2.6 Порядок виконання практичної роботи

На деталях виявити найбільш ймовірні місця утворення тріщин. Розробити технологію дефектоскопії з застосуванням магнітного методу. Зразки та деталі обробити за технологією магнітного контролю по залишковій намагніченості. Проаналізувати рисунок, що утворився на зразках і деталях. Деталі і зразки розмагнітити і перевірити якість цієї операції.

2.7 Зміст звіту

Показати актуальність впровадження 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 внаслідок чого полегшується виявлення дефектів за допомогою магнітних методів та причини виникнення виявлених дефектів. Зробити висновки відносно результатів проведеної лабораторної роботи.

2.8 Література

1. Неразрушающий контроль металлов и изделий. Справочник / Под ред. Г.С. Самойловича – М.: Машиностроение, 1976. – 456с. С. 131 – 180.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 3

Дослідження методів контролю, що базуються на ефекті Баркгаузена

Мета роботи: навчитися застосовувати методи контролю що базуються на ефекті Баркгаузена

3.1 Загальні положення

При накладенні на ферромагнетик зовнішнього магнітного поля процес намагнічування складається із трьох основних стадій: зсуву, обертання й парапроцесу. Стадія зсуву відповідає області слабких магнітних полів, де крива намагнічування йде найбільше круто, а процес намагнічування здійснюється шляхом зсуву границь між доменами. Детальне дослідження кривої намагнічування в області зсуву показало, що саме в цій області змінення намагніченості відбувається стрибкоподібно, тобто при плавному змінненні зовнішнього магнітного поля намагніченість зразка змінюється стрибками.

Під час відсутності поля положення границь визначається дією внутрішніх сил. До числа таких внутрішніх сил ставляться, насамперед, внутрішні напруження, викликані деформаціями кристалічної решітки або якими-небудь неоднорідностями (включеннями), а також магнітні поля розсіювання, викликані цими неоднорідностями.

Якщо тепер помістити зразок у зовнішнє магнітне поле, то розмагнічений стан стане енергетично не вигідним. Це виявиться в тім, що з боку домена, орієнтованого енергетично більш вигідно, на границю сусіднього домена, орієнтованого енергетично менш вигідно, виникає гідростатичний тиск.

Зсув границі, мабуть, буде відбуватися доти, поки цей гідростатичний тиск не буде врівноважено якимось внутрішнім тиском. Можна показати, що роль такого внутрішнього тиску грає градієнт поверхневої щільності енергії. У результаті границя стрибком переміщається, а намагніченість кристала стрибком змінюється на деяку величину.

Завдяки наявності неоднорідностей, внутрішніх напружень, мінливості градієнта поверхневої щільності енергії граничного шару та інших неоднорідностей, на стадії зсуву поряд зі зворотніми зсувами границь між доменами відбуваються і незворотні зсуви цих границь.

Такі незворотні стрибкоподібні зсуви границь і уявляють собою стрибки Баркгаузена.

Майже всі автори, що досліджували ефект Баркгаузена, відзначають високу чутливість цього ефекту до різних зовнішніх впливів і структурних змін зразка. Знання характеру цього впливу на різні сторони ефекту Баркгаузена дозволяє застосувати цей ефект для ряду вимірів і досліджень. Зокрема, від величини внутрішніх напружень. При чому ця залежність має лінійний характер аж до границі пружності. Також виявлені залежності параметрів магнітних шумів від структури, хімічного складу, режимів термообробки, наявності дефектів.

В основі цього методу є розподіл імпульсів електрорушійної сили (ЕРС) за амплітудами, тривалостями, спектральним складом. Відповідно інформативними параметрами даного методу являються:

1) максимальні значення складової магнітної спримальності обумовленої стрибками Баркгаузена, наприклад, після відпалу або гартування;

2) частоти проходження стрибків Баркгаузена, наприклад, після високочастотного відпускання;

3) середнього магнітного моменту стрибків Баркгаузена, наприклад, після механічної обробки.

Завдяки великій кількості стрибків Баркгаузена та повторюваності результатів цей метод дає можливість вимірювати коерцитивну силу з точністю до 10^{-2} Ерстед навіть для зразків діаметром 0,1 мм. Метод можна застосувати й для зразків діаметром кілька десятків мікрон.

Особливо інтенсивно ефект Баркгаузена відбувається в найбільш крутій частині петлі гістерезису, тобто в полях, близьких до коерцитивних. У цій області полів при зміні магнітного поля на 1 э в 1 см³ відпалені залізні зразки налічується 10^{-7} стрибків, тобто в середньому 1 стрибок при зміні поля на 10^{-7} Ерстед. Цей факт використовується для фіксування малих змін магнітного поля.

Зокрема, висока чутливість ефекту Баркгаузена до внутрішніх напружень дозволяє використати його як ще один магнітний метод визначення межі пружності у феромагнетиках. При досягненні межі пружності для залізних, нікелевих і пермалоевих зразків спостерігається різке збільшення числа стрибків N . Це дозволяє зафіксувати ме-

жу пружності надійніше, чим по залежності, наприклад, зміни індукції B від σ .

Можливості застосування ефекту Баркгаузена:

- глибина проникнення до 1,2 мм;
- окреме вимірювання усіх компонентів тензора напруженого стану;
- сканування поверхонь з кольоровою індикацією рівня напружень;
- представлення результатів контролю в істинних одиницях (наприклад напружень в МПа);
- контроль параметрів різального інструменту безпосередньо на різальних кромках, параметрів шестерень у проміжках між зубцями, параметрів внутрішніх поверхонь отворів;
- контроль параметрів поверхневої пластичної деформації (ППД) з визначенням товщини зміцненого ППД шару;
- контроль параметрів поверхневих шарів при хіміко-термічній обробці;
- при здійсненні досліджень з застосуванням даного методу використовують наступні типи приладів: ИНТРОМАТ, ТОМОС-КОП, МАША – магнітошумовий аналізатор.

3.2 Завдання на підготовку до практичної роботи

Для виконання практичної роботи та пояснення результатів експериментів необхідно пропрацювати такі питання:

5. Сутність фізичних процесів, що відбуваються при контролі методами які базуються на ефекті Баркгаузена.
6. Фізика взаємодії границь доменів з складовими структури.
7. Фізичні аспекти впливу параметрів матеріалів на інформативні параметри методів, що базуються на ефекті Баркгаузена.
8. Вплив факторів на вірогідність результатів контролю при застосуванні даних методів.

3.3 Контрольні питання

9. Типи дефектів, для виявлення яких доцільно застосовувати дані методи.

10. Типи приладів, що використовуються при застосуванні даних методів.

11. Вимоги до приладів, що застосовуються в методах які базуються на ефекті Баркгаузена.

12. Технологія виявлення дефектів методами які базуються на ефекті Баркгаузена.

13. Якими способами можна підвищити достеменність результатів контролю деталей даним методом?

14. Як відрізнити реальні дефекти від уявних (несправжніх).

15. Вказати переваги та недоліки розглянутого методу.

3.4 Матеріали і устаткування

Зразки і деталі. Магнітошумовий аналізатор МАША.

3.5 Вказівки з техніки безпеки

Роботу виконують з дозволу викладача у відповідності з інструкціями із ТБ (додаток А).

3.6 Порядок виконання практичної роботи

На деталях виявити найбільш ймовірні місця утворення тріщин. Розробити технологію дефектоскопії із застосуванням магнітошумового аналізатору МАША. У відповідності з розробленою технологією дослідити зразки та найбільш ймовірні місця утворення тріщин на деталях. Проаналізувати отримані результати. Вказати які із виявлених дефектів небезпечні при застосуванні контрольованих деталей, а які є припустимими.

3.7 Зміст звіту

Показати актуальність впровадження методів контролю, що базуються на ефекті Баркгаузена. Описати основні теоретичні положення відповідно до завдання та технології проведення контролю. Пояснити внаслідок чого можуть виникати дефекти в зразках та виробих і

чому дані методи дефектоскопії полегшують виявлення дефектів.
Зробити висновки щодо отриманих результатів.

3.8 Література

1. Неразрушающий контроль металлов и изделий. Справочник /
Под ред. Г.С. Самойловича – М.: Машиностроение, 1976. – 456с.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 4

Струмовихровий метод контролю

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

4.1 Загальні положення

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

Сутність методу вихрових струмів полягає в наступному: випробувана деталь (ОК) повністю або частково знаходиться в магнітному полі котушки датчика, що живиться змінним струмом. Змінний магнітний потік Φ_0 , що виникає в ОК збуджує в ній вихрові струми, які в свою чергу збуджують магнітний потік Φ_v , що взаємодіє з магнітним полем котушки.

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

Вихровий струм, збуджений у ОК, залежить від таких факторів:

- а) електропровідності і магнітної проникності металу;
- б) розмірів і форми ОК;
- в) відстані (зазору) між котушкою датчика і ОК.

В свою чергу електропровідність і магнітна проникність залежать від хімічного складу матеріалу, його структурного стану, глибини цементованих шарів і т. інш. 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. В дефектоскопії використовують широкий спектр частот від 50 Гц до 10 МГц.

Самим поширеним у МВС датчиком є котушка індуктивності або комбінація декількох котушок. За електричними властивостями сигналу розрізняють параметричні і трансформаторні датчики.

У параметричних сигналом служить збільшення комплексного опору, який формується в тій же обмотці по якій йде збуджуючий струм. Вони більш прості, частотний діапазон їх 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. При контролі цими перетворювачами на параметри котушки впливають властивості виробу в цілому. Їх застосовують для контролю прутків, дроту, труб, профілів, куль, роликів і кілець підшипників та інших виробів.

Накладні перетворювачі дозволяють контролювати виробу будь-яких форм і розмірів. Вони служать 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 деталі, що пройшли термічну обробку, часто піддаються вибірковому контролю. Практика показала, що при такій 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 ходу 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 і т. інш.) від електропровідності і магнітної проникності матеріалу виробу. Після цього вибирають тип приладу в залежності від розмірів, форми виробу і умов його контролю.

Широке поширення при контролі 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 еталонам – кільцям такого ж типу та розміру, як і ті, що перевіряються.

Контроль якості відпуску зазначеними приладами роблять у такий спосіб: контролюють кільця після гарту, фіксують результати вимірів; потім кільця маркують, піддають відпуску і повторно вимірюють. За різницею значень двох вимірів судять про якість відпуску: якщо різниця показань менше встановленого значення – відпуск проводився при занадто 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 і магнітні властивості контрольованих матеріалів помітно відрізняються. Можна здійснювати контроль на прутках, трубах, штангах, кільцях, роликах і т. ін. Контроль ведеться методом порівняння. За еталони приймають деталі з потрібних марок сталі.

Метод вихрових струмів дозволяє виявляти поверхневі і підповерхневі тріщини, плівки, 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 повинне бути однаковим у всіх зонах контролю. При контролі прохідними перетворювачами положення виробу в перетворювачі повинне 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 ведеться методом порівняння характеристик двох сусідніх ді-

лянок контрольованого прутка. Дефектоскоп може бути встановлений в технологічну лінію калібрування чи в автоматичну контрольну лінію. При цьому треба враховувати, що чим вище коефіцієнт заповнення перетворювача, тим вище ефективність контролю. На результати контролю дуже впливає локальна кривизна. Якщо в процесі контролю здійснюють підмагнічування постійним полем, то після контролю прутки повинні 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, ВД-26Н, ВД-33, які призначені для виявлення дефектів у вигляді тріщин шириною більше 0,06 мм, довжиною більше 4 мм, глибиною більше 0,3 мм в поверхневих і підповерхневих шарах. Конструкція припускає 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 при контролі 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 уявляє собою чотири накладні головки з 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 в залежності 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 включає стійку і котушку, у якій поміщені індикаторні котушки різно-

го розміру в залежності від контрольованого матеріалу. Котушка виконана з мідної труби, по якій циркулює вода для її охолодження; при припиненні подачі води струм у котушці автоматично відключається; робоча частота 25 кГц. У приладі передбачений пристрій, який дозволяє не враховувати кінцеві ефекти, він відключає прилад у випадку, якщо кінець прутка проходить через індикаторну котушку, і виключає у такий спосіб помилкове спрацювання. Довжина не перевіряемого кінця прутка не перевищує 100 мм.

Для підвищення ефективності контролю необхідно також виконання деяких умов. Контролюємі, заготовки повинні бути чистими, без слідів грубого механічного оброблення. Локальна кривина (особливо гнуті кінці) не припускається. Коефіцієнт заповнення датчика повинний бути не менше 0,7.

Для контролю дефектів на поверхні каліброваного дроту діаметром від 3 до 10 мм призначена установка ДТ-901. Вона включає електронний прилад, що забезпечує живлення перетворювача, пристрій для виправлення дроту в двох взаємно перпендикулярних площинах, очисний пристрій, механізм розгорнення, що забезпечує обертальний рух струмовихрового накладного перетворювача відносно дроту і передачу сигналу в електронний прилад. На виході автоматичного дефектоскопа встановлений притискний ролик, що знижує 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 виробів створені автоматичні прилади СК-27, СК-31, СК-39. Виявлення дефектів по всій поверхні кульок і по твірній роликів проводиться 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 поступально переміщуються вздовж ролика.

Всі автомати мають завантажувальні пристрої і забезпечують розбраковування виробів на дві групи: «годні » і «брак ».

А 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 вихрострумівих приладах використовують вбудовані мікро ЕВМ (Електроніка 35-12», «Електроніка 35-21М», «Електроніка НЦ-80Т», «Електроніка 35-31»і ін.).

Для кількісного визначення електропровідності (σ) 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. При недостатній точності приладу його додатково настраюють.

Великі похибки вимірювань можуть бути викликані наявністю зазору між датчиком й поверхнею виробу, обумовленою наявністю окислів, покриттів, змащення й т.д. Помилка може бути викликана також кривиною виробу, близьким розташуванням датчика до його країв, змінами товщини виробу (якщо вона порівнянна 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 настроюванням.

Електропровідність матеріалу в значній мірі 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 по контрольному зразку, що має однакову з виробами температуру й поправочні температурні коефіцієнти.

Якщо через велику кривину 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 при механічних, хімічних, спектральних, металографічних й інших необхідних дослідженнях. Точність

вимірів підвищується при постійних товщині виробів, кривині їх поверхні в зоні контролю, відстані від датчика до виступів, впадин та країв виробів, що перевіряються.

МВС можна застосовувати також при розбракуванні партії виробів за структурою, твердістю й іншим характеристикам сплавів.

При 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 – по електропровідності й складу домішок визначити їх кількість.

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

У ряді випадків МВС дозволяє виключити металографічний аналіз і механічні випробування при визначенні 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 їх провідності.

Найбільше використання МВС знайшов при контролі якості термообробки алюмінієвих сплавів.

Загартовані й відпалені алюмінієві сплави значно розрізняються за електропровідністю, що дозволяє визначати за допомогою МВС їх структурний стан. При природному старінні сплавів значення провідності зменшуються, а при штучному – збільшуються.

Поширеним дефектом є перепал (перегрів) при гартуванні. Сплав Д16 має вузький температурний інтервал гартування ($485-503^{\circ}\text{C}$). 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 біль тривалої витримки (природного старіння) $17 \cdot 10^6 - 18 \cdot 10^6$ См/м. Якщо значення σ більше верхньої границі, то матеріал нагрітий до температури нижче оптимальної температури гартування, а якщо значення σ менше нижньої границі – то матеріал перепалений при гартуванні.

Методом вихрових струмів виявляють так звані м'які плями – зони зі зниженою твердістю, що виникають при гартуванні крупногабаритних деталей з алюмінієвих сплавів. Ці дефекти є наслідком не-

достатнього 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 при різних температурах. Потім, не видаляючи плакований шар, вимірюють електропровідність (σ) зразків і визначають залежність $\sigma = f(T)$ у вигляді графіка або формули для матеріалу у 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) й механічного впливу при тривалій експлуатації знеміцнюються, що призводить до різкого зниження їх твердості (сплав АК4). Це, в свою чергу, викликає схоплення поверхонь деталей циліндро-поршневої групи двигунів внутрішнього згорання. При ремонті таких двигунів із використанням залежності між твердістю й електропровідністю вдається відібрати за допомогою струмовихрового контролю усі знемічені поршні й відновити їх 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. При їх побудові необхідно враховувати коливання σ внаслідок розкиду хімічного складу сплаву, наявності плакованого шару й інших факторів. Для багатьох матеріалів маються залежності між електропровідністю й твердістю які дають можливість оцінювати твердість без ушкодження деталей.

Необхідність визначення якості термообробки або механічних властивостей деталей виникає не тільки при виготовленні, але й при 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. При контролі вдається знайти ділянки у виробі, на яких міцність знижується від 540 до 400 МПа, що свідчить про їх 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 у порівнянні з виміром цього параметру традиційними методами.

4.2 Завдання на підготовку до практичної роботи

1. Класифікація методів контролю за допомогою вихрових струмів.
2. Характерні фізичні процеси і 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.

4.3 Контрольні питання

1. Показати актуальність застосування МВС для контролю деталей.
2. На яких фізичних явищах базується контроль за допомогою МВС?
3. Вказати типи датчиків та їх переваги і недоліки.
4. Охарактеризувати можливості приладів, призначених для проведення контролю МВС.

АК6	σ , СМ/М						
Сплав Д16	τ , с						
	σ , СМ/М						

4.8 Література

1. Неразрушающий контроль металлов и изделий. Справочник / Под ред. Г.С. Самойловича – М.: Машиностроение, 1976. – 456с. С.203–211, 217-225, 236- 237, 257-264.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 5

Апаратура для ультразвукового контролю

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

5.1 Загальні положення

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

Дефектоскоп загального призначення для ручного контролю містить ряд систем, які забезпечують зручність експлуатації і точність вимірювань. *Генератор зондувальних імпульсів* виробляє імпульси електричної напруги, що перетворюються електроакустичним перетворювачем (ЕАП) в ультразвукові коливання які в свою чергу використовуються для вивчення об'єктів контролю ОК.

Відбиті від дефекту ультразвукові сигнали приймаються тим же (сполучена схема) чи іншим (роздільна схема) ЕАП, трансформуються в електричні імпульси і надходять на вхід *підсилювача*. Коефіцієнт підсилення його регулюється в часі за допомогою системи *часового регулювання чутливості* (ЧРЧ), завдяки чому компенсується ослаблення ультразвукового імпульсу при проходженні ним ОК. Посилений до необхідної величини сигнал надходить на *індикатор – електронно-променеу трубку* (ЕПТ) і на *автоматичний сигналізатор дефектів* (АСД).

Синхронізатор забезпечує необхідну часову послідовність роботи усіх вузлів дефектоскопа. Одночасно з запуском генератора імпульсів (чи з деякою заданою затримкою) він запускає *генератор розгорнення* ЕПТ. Розгорнення дозволяє розрізнити за часом приходу сигнали від об'єктів відбиття ультразвуку розташованих на різній відстані від ЕАП, наприклад, сигнали від дефектів відрізнити від донного сигналу. Синхронізатор також керує роботою блоків ЧРЧ і АСД.

Сучасні дефектоскопи мають *пристрої для виміру амплітуди і 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 у залежності від задач контролю одночасно, чи послідовно окре-

ними групами. У цьому випадку синхронізатор керує роботою електронного комутатора, що забезпечує обрану послідовність включення окремих електронно-акустичних каналів. Кожний з цих каналів містить перераховані вище вузли, які використовують в залежності від технічних характеристик апаратури.

Генератор зондувальних імпульсів містить два основних елементи: коливальний контур, що включає в себе випромінюючий ЕАП (електроакустичний перетворювач), і електронну схему, що забезпечує генерацію коротких електричних імпульсів тієї чи іншої форми. Резонансну частоту контуру за допомогою індуктивності підбирають близькою до резонансної частоти п'єзопластини. Добротність контуру регулюють зміною опору резистора, підключеного паралельно контуру.

Зондувальний імпульс має форму, близьку до дзвіноподібної. Амплітуда першого напівперіоду коливань збуджуючого імпульсу 300...500 В. Однак ефективно діюча амплітуда спектральної складової на робочій частоті значно менше (50... 100 В) через невідповідність смуг частот імпульсу і перетворювача. В даний час часто застосовують генератори, що виробляють імпульси колоколоподібної форми, що характеризуються вузьким спектральним складом при заданій тривалості, або імпульси, що містять один, два чи більше коливань (імпульсів) постійної амплітуди, що підвищує ККД генератора.

Амплітуду електричного збуджуючого імпульсу обмежує напруженість змінного електричного поля, яку може витримати п'єзопластина без пробою чи механічного руйнування. Для кераміки ЦТС-19 ця величина складає близько 3000 В/мм. Однак лінійний ріст амплітуди акустичного сигналу спостерігається при підвищенні напруженості тільки приблизно до 300 В/мм. Із оглядом на те, що п'єзопластину роблять напівхвильовою, зменшуючи її товщину з підвищенням частоти, гранична напруга живлення обмежена цією обставиною і залежить від частоти. Зважаючи на це при максимальній частоті 10 МГц, максимальна напруга не повинна перевищувати 500 В. Оскільки дефектоскоп повинен надійно працювати з усіма перетворювачами, що входять до комплекту, максимальну амплітуду вказаної напруги обмежують цим значенням. Низькочастотні дефектоскопи мають генератори з більш високою напругою. Слід зазначити, що існують інші типи п'єзокераміки, які витримують без пробою і руйнування значно вищі напруженості, ніж ЦТС-19.

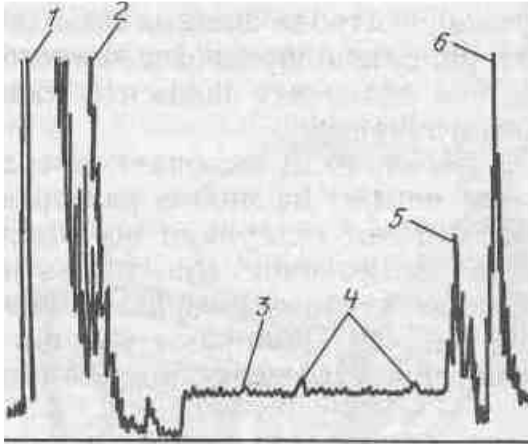
Амплітуди сигналів вимірюють за допомогою блока каліброваного ослаблення сигналів – *атенюатора*. Вимірювання полягає в порівнянні амплітуд двох чи декількох сигналів у відносних одиницях децибеллах. Процес вимірювання зводиться до ослаблення прийнятих сигналів до деякого встановленого рівня. Величина 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 до 100 дБ.

Останнім часом застосовують автоматичне визначення (вимірник) амплітуди з цифровою індикацією. Іноді амплітуду перераховують у величину, що характеризує розмір дефекту і представляють її на цифровому табло. Оскільки перерахування виконується за різними законами в залежності від типу перетворювача і характеристик матеріалу ОК, вимірник вимагає попереднього налаштування. При переміщенні перетворювача по ОК амплітуда ехосигнала від дефекту змінюється, але автоматичний вимірник фіксує максимальне значення амплітуди.

Крім каліброваного атенюатора імпульсні дефектоскопи мають ряд інших регуляторів чутливості. До них відносять регулятор амплітуди зондувального імпульсу, некалібрований регулятор чутливості УВЧ, ВРЧ і відсічення. Відсічення (обмеження сигналів знизу) досягаються зміною граничного рівня детектора. Завдяки цьому відтинають всі 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 так званого *компенсованого відсічення*, що забезпечує відновлення амплітуди сигналів, які були вище рівня відсічення, до первісної величини.

Система ЧРЧ (її вірніше назвати часовим автоматичним регулюванням підсилення) призначена для генерування регулюючого сигналу визначеної форми, за допомогою якого змінюється в часі підсилення. ЧРЧ компенсує ослаблення імпульсу, яке обумовлене загасанням. Закон зміни підсилення повинний бути зворотним закону зменшення амплітуд відбитих сигналів від дефектів у міру їхнього віддалення від перетворювача. Ці закони різні для відбивачів різної форми і розмірів, тому ідеальну ЧРЧ створити не можна.

Індикатором прийнятих сигналів, як правило, служить електронно-променева трубка. Найчастіше на вертикально відхиляючі пластини подають підсилений до необхідної величини корисний сигнал, а на горизонтально відхиляючі – напругу розгорнення (рис. 5.1).



1 – зондувальний імпульс, 2 – завади перетворювача, 3 – стробіювальний імпульс, 4 – структурні завади, 5 – ехосигнал від дефекта, 6 – донний сигнал

Рисунок 5.1 – Типове зображення на екрані ЕПТ дефектоскопа

Розгорнення синхронізують з частотою посилення зондувальних імпульсів. Необхідну тривалість розгорнення t_p визначають швидкість звуку c у матеріалі і максимальна товщина ОК h_{max} : $t_p = 2h_{max}/c$.

При великій товщині ОК. сигнали від близькорозташованих 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.

Система автоматичної сигналізації дефектів (АСД) призначена для автоматичної фіксації моменту виявлення дефекту. Її можна розглядати як окремий випадок реєстратора. Особливо важливе зна-

чення такі системи мають в автоматизованих установках, у яких виявлені дефекти реєструють у процесі безупинного сканування перетворювачем ОК. При ручному контролі система АСД значно полегшує роботу оператора, подаючи звуковий чи світловий сигнал при виявленні дефекту, що дозволяє підвищити надійність отриманих результатів контролю.

Система АСД включає генератор *стробуючих імпульсів*. *Стробування* – виділення деякого інтервалу часу. Стробуючим імпульсом вибирають ділянку розгорнення, на яку попадають сигнали від дефектів, що підлягають реєстрації. У деяких дефектоскопах існує система спостереження стробуючим імпульсом за обраним ехосигналом навіть при його переміщенні по лінії розгорнення, що звичайно відбувається при русі перетворювача щодо дефекту. Установивши стробструбуючий імпульс так, щоб у нього попадав тільки донний сигнал, по амплітуді цього сигналу стежать за стабільністю акустичного контакту, загальною справністю роботи апаратури, а також підстроюють чутливість. Дуже зручні дефектоскопи з двома стробуючими імпульсами: один для спостереження за сигналами від дефектів, а інший – за донним сигналом з роздільним регулюванням рівня спрацювання сигналізаторів.

Синхронізатор являє собою автоколивальну імпульсну систему. Частоту генеруємих синхронізатором імпульсів вибирають в залежності від задач контролю в межах 50 – 8000 Гц. У деяких дефектоскопах є можливість їх регулювати. У зв'язку з тим, що частота синхронізатора визначає період проходження зондувальних послань, то з точки зору збільшення швидкості контролю (а отже, його продуктивності) її бажано вибирати можливо більшою. Однак вона обмежується загасанням ультразвуку і товщиною ОК, оскільки необхідно, щоб імпульс, випромінений в ОК, цілком загасав до надходження наступної послілки.

Пристрій для виміру відстані до дефекту або до дна ОК – вимірює час пробігу імпульсу до відбивача. Час перераховують у відстань з урахуванням швидкості ультразвука в ОК. Коректування на швидкість звуку вводять, вимірюючи яку-небудь відому відстань, наприклад товщину ОК. У більшості дефектоскопів вимірювання здійснюють безпосередньо на екрані ЕПТ, що обладнана шкалою. При цьому висувають високі вимоги до лінійності і стабільності розгорнення.

Дефектоскоп із вбудованої мікроЕОМ — основний тип приладу загального призначення останніх випусків. Аналогово-цифровий пе-

ретворювач, аналогові сигнали, що надходять з ОК, переводить у цифрову форму, у якій роблять подальшу обробку і виводять результати на табло чи дисплей у виді цифрових даних про глибину залягання й амплітуду ехосигнала від дефекту. Це підвищує точність і дає ряд 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 другого – ЕОМ постійно перевіряє правильність його дій, зменшує тим самим вплив суб'єктивного фактора. Зокрема, настроювання 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 бажаних параметрах контролю (частоті, типі хвилі, куті введення). Процедура настроювання може бути спрощена для найбільше часто контрольованих об'єктів. Наприклад, у пам'яті дефектоскопа УД-2-17 можна зберігати до 12 попередньо підготовлених варіантів програми контролю і вибирати необхідний простим переключенням.

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

Прямий перетворювач контактного типу призначений для роботи по сумісній схемі. П'єзопластину звичайно виготовляють із ЦТС. В даний час 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 в той же час збільшується довжина ближньої зони, де оцінка розмірів і місця розташування дефектів утрудняється 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 β повинний 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 і різні моди хвиль у пластинах і стрижнях.

Роздільно-сумісний (РС) перетворювач має випромінюючий і прийомний п'єзоелементи, що розділені акустично і електрично. У той же час вони об'єднані конструктивно в одному корпусі. Завдяки розділу електричний і акустичний зондувальні імпульси і імпульси перешкоди, що їх супроводжують, практично не попадають на приймач. В 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 цілком маскує корисний сигнал.

Широкозахоплювальні ПЕП мають сильно 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 із *зміним 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 посилюється. За абсолютну чутливість дефектоскопа приймають максимальне значення абсолютної чутливості, що досягається хоча б з одним перетворювачем, що входить у комплект прилада. Абсолютна чутливість сучасних дефектоскопів дорівнює 90 – 100 дБ. У кращих приладів вона досягає 120 дБ.

5.2 Завдання на підготовку до практичної роботи

Для виконання практичної роботи та пояснення результатів експериментів необхідно пропрацювати такі питання:

1. Сутність фізичних процесів, що відбуваються при контролі акустичними методами.
2. Класифікація акустичних методів контролю.
3. Типи акустичних хвиль і їх характеристики.
4. Система часового регулювання чутливості.
5. Індикатори прийнятих сигналів.
6. Система автоматичної сигналізації дефектів.
7. Перетворювачі для контролю ехометадами.
8. Технічні характеристики дефектоскопів.

5.3 Контрольні питання

1. Типи дефектів для виявлення яких доцільно застосовувати акустичні методи.

2. Навести приклади в яких випадках які типи акустичних перетворювачів доцільно використовувати.
3. Як визначається чутливість дефектоскопу?
4. Максимальна і мінімальна глибина контролюємих ОК, роздільна здатність та фактори, що визначають ці характеристики.
5. Пояснити різницю в конструкції та застосуванні перетворювачів різних типів.
6. Технологія виявлення дефектів акустичними методами.
7. Якими способами можна підвищити вірогідність контролю деталей акустичними методами?
8. Переваги та недоліки акустичних методів.

5.4 Матеріали і устаткування

Ультразвуковий дефектоскоп. Стандартні зразки.

5.5 Вказівки з техніки безпеки

Роботу виконують з дозволу викладача у відповідності з інструкціями із ТБ (додаток А).

5.6 Порядок виконання практичної роботи

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

5.7 Зміст звіту

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

5.8 Література

1. Неразрушающий контроль. В5 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. – С.92 – 106.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 6

Вимірювання товщини виробів із застосуванням ультразвукових методів контролю

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

6.1 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 при використанні 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 повинна перевищувати 8%, причому вимірюється середня товщина, а не найбільше її зменшення.

Ехоімпульсним методом товщину виробів можна визначити за часом проходження ультразвукового імпульсу і частоті повторень багатократних 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 зворотньому ході), видаючи 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

$$h = 0,5 ct. \quad (6.1)$$

Наприклад, якщо при контролі листа ($c = 6260$ м/с) інтервал часу між сусідніми імпульсами становить $t = 5$ мкс, то товщина листа 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 τ і інтервалу між ними t . При малих товщинах інтервал t може стати рівним 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 випромінюємих 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 вимірюємих товщин становить від одного до декількох десятків мм.

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

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

$$\Delta h/h = \Delta c/c + \Delta t/t$$

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

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

Настроювання на швидкість звуку виконують за зразком чи по ділянці ОК відомої товщини таким же способом, як і при вимірюванні товщини, тому похибка визначення швидкості і часу приблизно збігаються, з врахуванням цього

$$\Delta h/h = 2\Delta t/t. \quad (6.2)$$

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 настроювання 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, котрі застосовуються при ручному контролі, виділити сигнал, що відповідає відображенню від контактної поверхні ОК, можна тільки при дуже малій тривалості імпульсу, для одержання якого потрібно застосувати широкосмуговий 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 виключається при використанні безконтактних способів випромінювання і прийому акустичних хвиль. Для цієї мети застосовують електромагнітно-акустичні (ЕМА) перетворювачі. Широкосмугастість 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 при використанні цього способу в приладах, де донний сигнал має велику амплітуду.

Із інших чинників, що викликають похибку виміру, слід зазначити зміну температури. Вона призводить до зміни швидкості звуку в ОК, що компенсують підстроюванням на швидкість звуку. Змінюється також швидкість звуку в матеріалі перетворювача. Для виключення цієї похибки прилад повинний забезпечувати вимір часу пробігу імпу-

льсу між поверхнями ОК і не включати в зазначений інтервал час пробігу в призмах і 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. Щоб уникнути розглянутої похибки, прилад градуують по зразкам, причому в області малих товщин кількість градуювальних точок збільшують.

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

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

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

Зовнішня поверхня ОК повинна забезпечити можливість надійного акустичного контакту з перетворювачем, так само як при 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, при застосуванні його для контролю товщини стінок труб. Зменшення радіуса кривизни приводить 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.

Імпульсний товщиномір включає ряд вузлів, призначення і принцип дії яких аналогічні використуванним в дефектоскопі а саме: генератор зондувальних імпульсів, перетворювач, приймач-підсилювач. Зазначимо їх 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 рішення таких задач призначений товщиномір УТ-93П. Він дозволяє вести вимір товщин у діапазоні від 0,6 до 1000 мм. Вимір товщини стінки При випробуваннях на стандартних зразках у діапазоні до 300 мм прилад має похибку не більш $\pm 0,1$ мм, а при великих товщинах похибка складає $\pm (0,1+0,001/h)$ 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°).

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 настроювання на швидкість ультразвуку. Для цього використовують головну хвилю, що виникає і поширюється уздовж поверхні об'єкта одночасно з випромінюванням у нього 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 УТ-80Б, 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) відразу в чотирьох точках по колу труби.

Для автоматичного контролю товщини тонкостінних труб застосовують іммерсійні 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 настроювання товщиномірів використовують *стандартні зразки*. Звичайні плоскопаралельні кінцеві міри довжини типу шуців, плиток Йогансона малопридатні для калібрування товщиномірів у зв'язку з ненормованою зміною в них швидкості ультразвуку. Держстандартом розроблені і введені спеціально для перевірки ультразвукових товщиномірів комплекти мір товщини. Вони атестовані із 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 із плоскодонними отворами.

Для повсякденної перевірки працездатності універсальних товщиномірів виготовляють зразки із гладкими паралельними поверхнями з матеріалів з малим коефіцієнтом загасання УЗК (наприклад, із 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.

6.2 Завдання на підготовку до практичної роботи

1. Сутність 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.

6.3 Контрольні питання

1. Показати актуальність застосування ультразвукових методів для контролю деталей.
2. На яких фізичних явищах базується контроль за допомогою ультразвукових методів?
3. Вказати типи методів та датчиків, що використовуються при вимірюванні товщини. Охарактеризувати їх переваги і недоліки.
4. Порівняти можливості резонансного методу та ехометоду при вимірюванні товщини.
5. Якими способами можна зменшити похибки при контролі товщини?
6. Описати підготовку ОК до проведення контролю.
7. Навести приклади доцільності використання ультразвукових методів контролю товщини при виробництві і експлуатації деталей.

6.4 Матеріали і устаткування

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

6.5 Вказівки з техніки безпеки

Роботу виконують з дозволу викладача у відповідності з інструкціями із ТБ (додаток А).

6.6 Порядок виконання практичної роботи

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

6.7 Зміст звіту

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

Література

1. Неразрушающий контроль металлов и изделий. Справочник / Под ред. Г.С. Самойловича – М.: Машиностроение, 1976. – 456с. С. 330 – 331,
2. Неразрушающий контроль. В5 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. – С. 234 – 244.

ПРАКТИЧНОЇ РОБОТА № 7

Визначення пружних характеристик матеріалів

Мета роботи: дослідити можливості визначення модулів пружності ультразвуковими методами.

7.1 Загальні положення

Пружні характеристики E , G і μ різних матеріалів визначають динамічними способами з використанням звукових і ультразвукових хвиль. Існує кілька способів визначення пружних характеристик.

Спосіб, оснований на визначенні часу t проходження пружним імпульсом відомого відрізка довжиною l зразка. Цей час визначають по розгортці на екрані ЕПТ, куди надходять сигнали від передавальної і приймальної пошукових головок (при сумісній схемі пошукова головка одна).

Значення швидкості знаходять по формулі $C = l / t$, де l — шлях, що проходять пружні коливання за час t .

При невисоких температурах виміри не викликають труднощів. Підвищення температури зразка веде до значного ускладнення методики, тому що необхідні спеціальні перехідники між зразком і головою (при високій температурі п'єзоелементи виходять з ладу). При використанні імпульсних способів вимірювання швидкості поширення пружних хвиль зразок можна нагрівати до 900°C .

Спосіб, заснований на вимірі кутів переломлення і відбиття пучків хвиль при переході з одного середовища в інше. Якщо пружна хвиля переходить з одного середовища в інше, то на границі розділу середовищ спостерігається переломлення хвиль, що підкоряється співвідношенню $C_1 / \sin \alpha_1 = C_2 / \sin \alpha_2$, де C_1 і C_2 , — швидкості поширення хвиль у першому і другому середовищі; α_1 -кут падіння в першому середовищі; α_2 — кут переломлення в другому середовищі. У цьому випадку необхідно заздалегідь знати швидкість УЗК для одного із середовищ. Цей спосіб має обмежене застосування, тому що він придатний тільки для матеріалів з порівняно малим поглинанням ультразвуку і для проведення експерименту потрібно створити спеціальні умови (наприклад, занурити зразок у рідину).

Для визначення характеристик пружності цими способами необхідно знати швидкості поширення пружних хвиль у досліджуваному матеріалі.

В даній роботі як випробувані зразки застосовують тонкі стрижні, поперечні, розміри, яких на порядок менше їх довжини. Вимірявши швидкість УЗК у якому-небудь матеріалі, розраховують його пружні постійні за формулою

$$C_{np} = \sqrt{\frac{E}{\rho}}.$$

Розрахувати модулі E , G і коефіцієнт Пуасона μ можна якщо визначити C_l і C_t . Формули для розрахунків вказаних величин

$$\mu = \frac{1 - 0,5 \left(\frac{C_l}{C_t} \right)^2}{1 - \left(\frac{C_l}{C_t} \right)^2};$$

$$E = \frac{\rho C_l^2 (1 + \mu)(1 - 2\mu)}{1 - \mu};$$

$$G = \rho C_t^2;$$

$$\mu = \frac{E}{2G} - 1;$$

де E , G – модулі пружності першого і другого роду;
 C_l і C_t швидкості поздовжніх і поперечних хвиль;
 ρ – густина матеріалу;
 μ – коефіцієнт Пуасона.

7.2 Завдання на підготовку до практичної роботи

Для виконання практичної роботи та пояснення результатів експериментів необхідно пропрацювати такі питання:

1. Вибір методики та типу зразків для визначення модуля пружності металевих матеріалів.
2. Вибір частоти прозвучування.
3. Вибір типу перетворювача.

7.3 Контрольні питання

1. Які методики використовуються для визначення модуля пружності при звичайних і підвищених температурах?
2. Який тип хвиль використовують при визначенні нормального модуля пружності і модуля пружності зсуву?
3. Які інформативні параметри використовують при застосуванні даного методу?
4. Які явища спостерігаються при переході ультразвукових хвиль з одного пружного середовища в інше? Якими законами описуються ці явища?

7.4 Матеріали і устаткування

Дефектоскоп УДМ-3М або УД2-12 з перетворювачами (пошуковими головками).

7.5 Вказівки з техніки безпеки

Роботу виконують з дозволу викладача у відповідності з інструкціями із ТБ (додаток А).

7.6 Порядок виконання практичної роботи

Виміряти швидкість поширення звукових хвиль у зразках у відповідності до інструкції дефектоскопу. В залежності від вибраної методики вимірювання модуля пружності розрахувати його значення за відповідними формулами. Визначити похибку вимірювання.

7.7 Зміст звіту

Описати основні теоретичні положення відповідно до завдання. Розробити технологію визначення модулів пружності E та G акустичним методом. На основі теоретичних відомостей про фізичну природу поширення ультразвукових хвиль пояснити характер отриманих результатів. Зробити висновки відносно отриманих результатів.

7.8 Література

1. Неразрушающий контроль металлов и изделий. Справочник / Под ред. Г.С. Самойловича – М.: Машиностроение, 1976. – С. 334 – 335.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 8

Контроль структури матеріалів із застосуванням ультразвукових методів

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

8.1 Загальні положення

Контроль структури матеріалів оснований 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 їх термічної обробки можна судити не тільки про величину зерна, але і 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 14 балу відповідає 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 чинить дуже сильний вплив також і субструктура матеріалу. Роздільний вплив розмірів первинного і вторинного зерна на поширення акустичних хвиль поки досить повно не вивчено, тому ультразвукові методи в даний час 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 λ 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 трудомістке, а похибка виміру велика (10 % і більше). Тому при виробничому контролі 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, називані *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 ступень натягу дроту даний параметр стабілізують. В обох способах послаблення ультразвуку у виробих 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.

Міжкристалітна корозія вражає зсередини стінки судин і трубопроводів. Вона проявляється в тому, що відбувається хімічне перетворення речовин, які розташовуються по границях кристалітів (зерен) металу і в результаті різко знижується міцність останнього. Інші види корозії виявляють по локальному зменшенню 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 складається в порівнянні амплітуд сигналів, що пройшли той самий шлях в ОК, ураженому і не ураженому корозією. Коефіцієнт корозії приймають рівним відношенню амплітуд в ураженому ОК зразкового ОК. Контроль ведуть на частотах 1...10 МГц, підбираючи таке значення, де вплив корозії найбільший. У залежності від умов контролю можуть бути використані повздовжні хвилі із застосуванням сполученого чи роздільно-сполученого перетворювача, або поперечні хвилі, випромінювані і прийняті двома зустрічно розташованими похилими перетворювачами. При невеликій товщині ОК використовують хвилі Лемба або квазірелеєвські хвилі.

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

Критерієм для визначення величини зерна в сталях служить відношення амплітуд донних ехосигналів, отриманих при контролі виробу на різних частотах і при постійному коефіцієнті підсилення. Зазначені співвідношення мають наступний вид

$$K_1 = \frac{A_{f_2}}{A_{f_1}}; K_2 = \frac{A_{f_3}}{A_{f_1}}; K_3 = \frac{A_{f_4}}{A_{f_1}} \dots;$$

де K_1, K_2, K_3 - структурні коефіцієнти;

$A_{f_1}, A_{f_2}, A_{f_3}$ - 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_{f_1} не дорівнювала б нулю.

При застосуванні 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.

При визначенні глибини пошкодження металу корозією як показник розсіювання УЗК приймають відношення амплітуд ехосигналів при прозвучуванні зразків з різним ступенем ураження корозією і не уражених зразків на фіксованій частоті при постійному коефіцієнті підсилення. Ці співвідношення називаються коефіцієнтами міжкристалітної корозії

$$K_1 = \frac{A_{h_1}}{A_0}; K_2 = \frac{A_{h_2}}{A_0}; \dots K_n = \frac{A_{h_n}}{A_0},$$

де $K_1, K_2 \dots K_n$ – коефіцієнти міжкристалітної корозії;

$A_{h_1}, A_{h_2} \dots A_{h_n}$ – амплітуди сигналів при контролі зразків з різною глибиною міжкристалітної корозії $h_1, h_2 \dots h_n$;

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

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

8.2 Завдання на підготовку до практичної роботи

Для виконання практичної роботи та пояснення результатів експериментів необхідно пропрацювати такі питання:

1. Сутність 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

8.3 Контрольні питання

1. Охарактеризуйте залежність ступеня затухання і розсіювання акустичних хвиль від розміру зерна.
2. Охарактеризуйте залежність ступеня затухання і розсіювання акустичних хвиль від глибини корозійних пошкоджень.
3. Вкажіть типи перетворювачів, які доцільно використовувати в даному методі контролю.

8.4 Матеріали і устаткування

Зразки сталі 12X18H10T з різним розміром зерна і зразки уражені корозією на різну глибину. Дефектоскоп УДМ-3М або УД2-12 із перетворювачами (пошуковими головками).

8.5 Вказівки з техніки безпеки

Роботу виконують з дозволу викладача у відповідності з інструкціями із ТБ (додаток А).

8.6 Порядок виконання практичної роботи

1. Визначити амплітуди сигналів за частотами, вказаними в табл. 8.1 і табл. 8.2 і розрахувати структурні коефіцієнти для еталонних зразків.
2. Металографічним методом визначити розмір зерна та глибину міжкристалітних корозійних пошкоджень на еталонних зразках.
4. Результати занести в табл. 8.1 і 8.2.

Таблиця 8.1 – Значення амплітуди сигналів і структурних коефіцієнтів в залежності від середньої величини зерна аустенітної сталі і 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	K ₁	K ₂	K ₃
0,03							
0,06							
0,08							
0,12							
0,15							
0,18							

5. Визначити амплітуди сигналів за частотами, вказаними в табл. 8.3 і табл. 8.4 і розрахувати структурні коефіцієнти для досліджених зразків.

6. Провести лінійну апроксимацію необхідних інтервалів структурних коефіцієнтів за даними табл. 8.1 і 8.2.

Таблиця 8.2 – Значення амплітуд і коефіцієнтів міжкристалітної корозії в залежності від глибини корозії і частоти прозвучування для еталонних зразків.

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

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

8. Отримані результати перевірити металографічним методом.

Таблиця 8.3 – Значення амплітуди сигналів і структурних коефіцієнтів для досліджуваних зразків.

№ Зразка	Амплітуда сигналу, мм, при частоті, МГц				Структурні коефіцієнти			Величина зерна
	1,4	2,8	5,6	11,2	K ₁	K ₂	K ₃	

Таблиця 8.4 – Значення амплітуд і коефіцієнтів міжкристалітної корозії для досліджуваних зразків.

№ Зразка	Амплітуда сигналу, мм, при частоті, МГц			Коефіцієнти між- кристалітної корозії при частоті, МГц			Глибина ураження корозією
	1,25	2,5	5	K ₁	K ₂	K ₃	
				1,25	2,5	5	

8.7 Зміст звіту

Описати основні теоретичні положення відповідно до завдання. Розробити технологію визначення розміру зерна та ступеню корозій-

них пошкоджені аустенітної сталі акустичним методом. На основі теоретичних відомостей про фізичну природу поширення ультразвукових хвиль пояснити характер отриманих результатів (таблиці 8.1 – 8.4). Зробити висновки відносно отриманих результатів.

8.8 Література

1. Неразрушающий контроль металлов и изделий. Справочник / Под ред. Г.С. Самойловича – М.: Машиностроение, 1976. – , С. 333– 334.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №9

Контроль міцності неметалевих матеріалів ультразвуковим методом

Мета роботи: Дослідити можливості контролю міцності неметалевих матеріалів акустичним методом при відсутності тарировочної кривої.

9.1 Загальні положення

Звичайно міцність матеріалів визначають при механічних випробуваннях зразків, які навантажують до руйнування. Максимальне значення напруження визначає величину *тимчасового опору*, що звичайно приймають за міру міцності. Пропорційна залежність напружень від деформації спостерігається тільки поблизу початку координат, а далі залежності мають складний характер.

Виконувати експресні випробування без вирізання зразків дозволяють методи неруйнівного контролю, наприклад, широке поширення знайшов контроль міцності бетону по швидкості ультразвуку (ГОСТ 17624—78). При акустичному методі контролю використовують коливання з малою амплітудою, що відповідають початковій ділянці кривої напруження-деформація. Тому прогнозувати за параметрами акустичних хвиль зміну вказаної залежності при великих напруженнях і деформаціях аналітично неможливо. У зв'язку з цим шукають кореляційні залежності акустичних параметрів від міцності матеріалів. Для підвищення точності прогнозу міцності іноді використовують кілька акустичних параметрів або крім акустичних враховують інші властивості (електричні, магнітні), контрольовані відповідними неруйнівними методами.

Найбільш інформативний акустичний параметр для оцінки міцності матеріалу – це швидкість поширення хвиль. Встановлено, що кореляційний зв'язок міцність-швидкість зберігається зі зміною водоцементного співвідношення, виду цементу, типу піску, розміру частинок наповнювача, терміну служби бетону. При зміні цементно-піщаного відношення, пружних властивостей наповнювача кореляційний зв'язок порушується і потрібно проведення нових випробувань для визначення коефіцієнта B .

Зі збільшенням міцності бетону похибка її оцінки збільшується. При середній міцності бетону 10 МПа похибка у вимірі швидкості ультразвуку в 1 % викликає помилку у вимірі міцності 3,5%. Для бетону міцністю 25 МПа ця помилка зростає до 6%. З цієї причини для контролю бетону міцністю більш 50 МПа ультразвуковий метод не застосовують.

Залежність міцності σ_b від швидкості поздовжніх хвиль представляють у виді

$$\sigma_b = BC^4$$

де постійну B визначають за результатами випробувань на стискання зразків у виді кубів зі стороною 100 - 200 мм. У зв'язку з великим загасанням високочастотних ультразвукових коливань у бетоні контроль ведуть на низьких частотах, наприклад, із застосуванням приладу УК.-14П, що має робочу частоту 100 кГц. Він дозволяє вимірювати інтервал часу від 20 до 10000 мкс із похибкою 0,1 мкс. Прилад має цифровий вихід, мережове й автономне живлення.

Контроль виконують імпульсним методом. Випромінювач і приймач розташовують або по різні сторони ОК., використовуючи поздовжні хвилі, або на одній і тій же поверхні, використовуючи головні хвилі. В останньому випадку, оскільки вказані хвилі швидко затухають, базу між випромінювачем і приймачем беруть не більше 100 – 300 мм. При перевірці довгомірних об'єктів їх контролюють ділянками довжиною по 100 – 200 мм. Контролю не заважає наявність у бетоні сталеві арматури, хоча для підвищення точності вибирають ділянки, де її вміст мінімальний (не більш 5% по масі).

По зміні швидкості УЗ судять про процес твердіння поліефірної смоли, наявності зон неотвердженності. При проходженні твердіння швидкість звуку в склопластику асимптотично підвищується до максимуму. Одночасно з проходженні твердіння підвищується міцність склопластику.

9.2 Завдання на підготовку до практичної роботи

Для виконання практичної роботи та пояснення результатів експериментів необхідно пропрацювати такі питання:

1. Теоретичні передбачення, що дозволяють визначати міцність неметалічних матеріалів із застосуванням акустичних методів.

9.7 Зміст звіту

Описати основні теоретичні положення відповідно до завдання. Розробити технологію контролю міцності неметалевих матеріалів акустичним методом. На основі теоретичних відомостей про фізичну природу поширення ультразвукових хвиль пояснити характер отриманих результатів. Зробити висновки відносно отриманих результатів.

9.8 Література

1. Неразрушающий контроль металлов и изделий. Справочник / Под ред. Г.С. Самойловича – М.: Машиностроение, 1976. – , С. 252 – 255.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 10

Електропотенціальний метод контролю деталей

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

10.1 Загальні положення

Електропотенціальний спосіб оснований 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 складає екіпотенціальні лінії даного 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 даній ділянці поверхні. При рівномірному проходженні струму падіння напруги може бути визначене за законом Ома

$$U_0 = RI = l_0 I / A \sigma,$$

де l_0 – довжина лінії струму між двома потенціальними електродами;

A – площа поперечного перерізу;

σ – 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 досліджуємої 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: $\rho l = U/I$, де ρ - питомий опір, l – відстань між внутрішніми електродами. В залежності 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 допомогою приладів ИГТ-2ВТИ, ИГТ-10НК (СРСР); Х-РТ705, РМЖ-4011 (ФРН); РТ-25 (Англія).

Товщину покриття можна визначити за допомогою залежності напруги від товщини покриття. При цьому необхідно точно витримувати відстань l між потенціальними електродами і співвідношення σ_o/σ_n де σ_o – провідність основи; σ_n - провідність покриття. Найбільш доцільно використовувати цей метод для контролю товщини напівпровідникових покриттів.

10.2 Завдання на підготовку до практичної роботи

Для виконання практичної роботи та пояснення результатів експериментів необхідно пропрацювати такі питання:

1. Сутність електропотенціального методу контролю.
2. Контроль суцільності, глибини тріщин, вологості, якості термічної обробки металів.
3. Застосування методу вимірювання опору електричному струму для визначення геометричних розмірів.
4. Методика проведення контролю методом електричного потенціалу.

10.3 Контрольні питання

1. Що є інформативним параметром в даному методі?
2. Від яких факторів залежить різниця потенціалів між відповідними електродами?
3. Яким чином можна визначити глибину тріщин?

10.4 Матеріали і устаткування

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

10.5 Вказівки з техніки безпеки

Роботу виконують з дозволу викладача у відповідності з інструкціями із ТБ (додаток А).

10.6 Порядок виконання практичної роботи

Визначити падіння потенціалу на зразках з тріщинами різної глибини. Результати вимірювань занести в таблицю. Дані табл. 10.1 описати аналітичним виразом. Користуючись цими результатами визначити глибину тріщини в контролюємій деталі.

Таблиця 10.1 – Залежність падіння потенціалу для даного датчика і матеріалу від глибини тріщини.

Падіння потенціалу, мВ							
Глибина тріщини, мм							

10.7 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.

10.8 Література

1. Неразрушающий контроль металлов и изделий. Справочник / Под ред. Г.С. Самойловича – М.: Машиностроение, 1976. – . С.20., С.55., С. 107.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №11

Контроль деталей методом рентгенівської дефектоскопії

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

11.1 Загальні положення

Методи просвічування іонізуючим випромінюванням широко застосовують у машинобудуванні, електроніці, металургії й інших галузях промисловості. Завдяки високій енергії вказане випромінювання 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 в залежності від густини матеріалу виробу і густини матеріалу дефектів. За результатами виміру інтенсивності випромінювання визначають наявність у ньому дефектів (раковин, включень і т.д.).

Як іонізуюче випромінювання часто використовують рентгенівське випромінювання, що поширюється у вакуумі зі швидкістю $V = 2,998 \cdot 10^8$ м/с (швидкість світла). Це випромінювання при взаємодії з речовиною іонізує його атоми і молекули, тобто під дією цього випромінювання у речовині утворюються позитивні і негативні іони і вільні електрони, кількість яких реєструють детекторами. (Надалі замість терміна «іонізуюче випромінювання» вживається «випромінювання»).

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

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

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

Радіоактивні ізотопи є джерелами рентгенівського випромінювання. Їх застосовують для просвічування сталевих 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 рентгеноспектральний аналіз матеріалів.

Гальмівне випромінювання виникає при проходженні електрона через поле атома чи ядра, яким він гальмується. Щоб електрон міг пройти близько від ядра матеріалу мішені, його енергія повинна 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.

Чим менше довжина хвилі випромінювання, тим більше 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

$$J_d = J_0 e^{-\mu d},$$

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

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

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

У дефектоскопах радіографічного і візуального просвічування вони служать для перетворення радіаційного зображення (неоднорід-

ного по інтенсивності випромінювання, що несе 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, радіолюмінісцентні.

Фотографічні детектори (рентгенівські плівки) використовують для реєстрації випромінювання при радіографічному контролі деталей і 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 служать 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 пропорційно 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 і 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:

$$D_{onm} = \lg \frac{L_0}{L},$$

де D_{onm} – оптична густина потемніння плівки,

L_0 і L – інтенсивності світлового потоку, що падає на негатив і 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 $D_{onm} = 2$ 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 розрізняючу здатність мають дрібнозернисті плівки, а більшу чутливість крупнозернисті плівки.

Робота рентгенівської трубки полягає у наступному: електронний пучок гальмується вольфрамовою пластинкою, внаслідок 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 і визначається по формулі

$$R = 1.4 \cdot 10^{-7} ZU$$

із якої видно, що для мішені необхідно застосовувати матеріал з великим Z . При вольфрамовій мішені ($Z = 74$) і $U < 100$ кВ $R \approx 0,1\%$; 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 проєкція його в напрямку виходу променів – ефективною фокусною пля-

мою. 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 мають 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 і переносні. Їх поділяють на кабельні і моноблочні (блоктрансформаторні). У кабельних апаратах генератор високої напруги і рентгенівська трубка виконані як окремі блоки, які між собою з'єднані високовольним кабелем, а в моноблочних вони знаходяться в одному блоці. Моноблочні апарати легше і компактніше кабельних.

Виявляємість 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

$$S = \frac{\Delta h \cdot 100}{d + h},$$

де S – чутливість,

Δh – глибина найменшої видимої канавки пластинчастого еталона; h – товщина пластинчастого еталона,

d – товщина ОК.

Еталон чутливості (пластинчастий з канавками) поміщають на контрольовану ділянку деталі при її просвічуванні з боку джерела випромінювання.

Для сталі найвища чутливість рентгенографічного методу складає 1,5—3% від просвічуваної товщини.

Щоб одержати знімок високої якості і 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 фотообробки 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 Φ , відстанню b від дефекту до плівки, відстанню a від фокуса до дефекту і фокусною відстанню F , можна визначити по формулі

$$H_g = \frac{b\Phi}{a} = \frac{b \cdot \Phi}{F - b}$$

З цієї формули видно, що H_g можна зменшити застосуванням джерел випромінювань 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

$$l = \frac{al' + b\Phi}{F},$$

де l' – розмір дефекту на негативі.

Надмірне збільшення фокусної відстані з метою зменшення нерізкості веде 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 у залежності від товщини і розміру контрольованих ділянок, виходячи з умови, що густина почорніння зображення на краях складає 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 врахуванням 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 в залежності від енергії випромінювання.
- обмежити зону опромінення довгої деталі за допомогою діафрагм, коліматорів або свинцевих листів;
- встановити свинцеві листи безпосередньо за касетою для захисту від розсіяного випромінювання, що йде від столу, підлоги і навколишніх предметів.

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

Тріщини важко виявити, якщо невідомий їх напрямок поширення в глибину металу. Для надійного виявлення тріщин з шириною розкриття до 0,1 мм необхідно, щоб промені відхилялися від площини несущільності не більше ніж на кут у $10 - 15^\circ$. 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 наступних заходів:

- проводять просвічування при більш високих напругах у порівнянні 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, відносять:

- фокусна пляма джерела випромінювання повинна бути щонайменша;

- фокусна відстань повинна бути по можливості максимальна;
- варто застосовувати дрібнозернисту (висококонтрастну) рентгенівську плівку;
- розмір поля опромінення повинен бути якнайменший;
- рентгенівська плівка повинна бути розташована по можливості ближче до ОК;
- вісь робочого пучка випромінювання повинна 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, й т. ін.).

Джерело випромінювання вибирають в залежності 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 РТ-5 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 служать напівпровідникові кристали, що при просвічуванні поміщають під плівку в тому місці, де контролюється якість виробу. Прилади градуйовані для різних типів плівок і перед просвічуванням налагоджуються на дозу, що забезпечує оптимальну густину знімка. Після досягнення цієї дози прилад автоматично виключає джерело випромінювання.

Підготовка деталей до просвічування включає наступні роботи: очищення деталей, зовнішній огляд, розмітку просвічуваних ділянок і їх нумерацію, вибір напрямків просвічування, типу і формату плівок, касет. Крім цього, перед просвічуванням визначають необхідні прис-

тосування для раціональної установки деталей, касет із плівкою, номерних знаків і т. ін.

Зарядку касет (м'яких чи твердих) роблять у фотокімнаті при темно-червоному світлі. Для забезпечення щільного прилягання флуоресцюючих екранів до плівки краще користатися 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 наступну розшифровку знімків.

За допомогою пристосувань деталей поміщають під джерелом випромінювання так, щоб вісь робочого пучка випромінювання попадала на середину просвічуваної ділянки. До ділянки деталі з боку, протилежної ходу випромінювання, прикріплюють касету з плівкою так, щоб плівка по можливості більш щільно прилягала до поверхні деталі. Для кріплення касет використовують липкі стрічки, струбцини і т. ін. На деталь чи вільні краї касети укладають еталони чутливості. Їх розміщують з боку деталі, зверненої до джерела випромінювання так, щоб канавки прилягали до поверхні контрольованої деталі. Непросвічувані ділянки деталі закривають листовим свинцем і при 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 по обробці плівок застосовують автоматичні і напівавтоматичні пристрої, що забезпечують перенос і витримку рамок із плівками в баках із 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 подшуку 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 повинно 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 оглядають на негатоскопах з матовим склом. Для пошуку дрібних дефектів, негативи аналізують при частковому чи загальному затемненні. Для огляду застосовують лупу чи спеціальний проєкційний 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.

11.2 Завдання на підготовку до практичної роботи

Для виконання практичної роботи та пояснення результатів експериментів необхідно пропрацювати такі питання:

1. Основні властивості випромінювання.
2. Джерела випромінювання.
3. Закономірності ослаблення інтенсивності випромінювання.
4. Детектори випромінювань.
5. Конструкція і 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).

11.3 Контрольні питання

1. Для чого застосовують методи просвічування у машинобудуванні?
2. Завдяки чому використовують випромінювання для просвічування непрозорих об'єктів ?
3. Який спектр (гальмівний чи характеристичний) випромінювання і чому використовується в дефектоскопії?
4. На чому базується застосування рентгенівської плівки для виміру ступеня ослаблення інтенсивності випромінювання при радіографічному контролі?
5. Які заходи вживають для того, щоб одержати якісний знімок деталей з великим перепадом товщин?
6. Як проводять контроль деталей складної форми з отворами?
7. Які дефекти можуть бути виявленими методами просвічування?
8. Яким чином виявляють тріщини, напрямок поширення яких невідомий?

11.4 Матеріали і устаткування

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

11.5 Вказівки з техніки безпеки

Роботу виконують з дозволу викладача у відповідності з інструкціями ТБ (додаток А).

Крім того, оскільки при рентгенівській дефектоскопії використовують іонізуюче випромінювання, необхідно суворо дотримуватись правил техніки безпеки і проводити технічні, санітарно-гігієнічні і організаційні заходи щодо охорони праці. Просвічуванням рентгенівським випромінюванням можуть займатися працівники не молодше 18 років, що пройшли медичний огляд, вивчили інструкцію і методику просвічування, правила технічної експлуатації рентгенівських апаратів і вміють працювати на них; навчені безпечним методам роботи, знають правила користування захисними пристосуваннями і правила особистої гігієни,

пройшли спеціальний інструктаж із практичним показом безпечних методів роботи, а також здали залік із техніки безпеки.

Зниження рівня радіації досягається напрямком випромінювання у бік землі, зменшенням часу опромінення, збільшенням відстані від джерела до працюючого й установкою екранів з матеріалів, що добре поглинають випромінювання. Обслуговуючий персонал повинен знаходитися на безпечній відстані.

При рентгенівському контролі необхідно дотримуватись правил роботи на установках високої напруги.

11.6 Порядок виконання практичної роботи

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

11.7 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 відносно отриманих результатів.

11.8 Література

1. Неразрушающий контроль металлов и изделий. Справочник / Под ред. Г.С. Самойловича – М.: Машиностроение, 1976. – , С.361 – 440.

ЛІТЕРАТУРА

1. Контроль якості : підручник / В. В. Чигарьов, П. А. Гавриш, Н. О. Макаренко. – Маріуполь : ДВНЗ «ПДТУ», 2017. – 320 с.
2. Неразрушающий контроль металлов и изделий. Справочник / Под ред. Г.С. Самойловича – М.: Машиностроение, 1976. – 456с.
3. Неразрушающий контроль. В5 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.
4. Белокур И. П., Коваленко В.А. Дефектоскопия материалов и изделий. – К.: Техника, 1989.– 192 с.
5. Гембріс С. Геррманн Й., «Управління якістю», Омега-Л Смартбук, 2008 р.
6. Шевчук Д.А., «Контроль якості», Гросс-Медіа ", М., 2009 р.

Додаток А

Правила із техніки безпеки при виконанні лабораторних робіт

А.1 Загальні положення

А.1.1 Дана інструкція діє тільки при проведенні робіт із дисципліни “Діагностика та дефектоскопія матеріалів та виробів”.

А.1.2 Використовуються наступні електричні прилади: магнітний дефектоскоп, струмовихровий дефектоскоп, ультразвуковий дефектоскоп, ультразвуковий товщиномір, установка для проведення контролю електропотенціальним методом.

А.1.3 До роботи в лабораторії допускаються особи, що ознайомились з правилами внутрішнього трудового розпорядку, пройшли медичний огляд, інструктаж з охорони праці, вивчили правила надання першої (медичної) допомоги. Інструктаж проводить керівник робіт, який завершується перевіркою знань усним опитуванням. В журналі з охорони праці залишається запис про проведення інструктажу з підписами осіб, яку інструктують і яка інструктує.

А.1.4 Небезпечними факторами є електрична напруга та статична електрика на конструктивних частинах приладів.

А.1.5 При проведенні лабораторних робіт забороняється:

- а) вмикати і вимикати (крім аварійних випадків) прилади та обладнання без потреби;
- б) відволікатися сторонніми справами і розмовами, відволікаючи інших;
- в) працювати на несправних приладах та обладнанні;
- г) торкатися до струмопровідних частин, електричних дротів (навіть ізольованих), кабелів, клем.

А.2 Вимоги безпеки перед початком роботи

А.2.1 Оглянути лабораторію та прибрати зайві речі.

А.2.2 Перевірити наявність необхідних приладів.

А.2.3 Перевірити заземлення приладів та обладнання.

А.2.4 Перед вмиканням приладів слід звернути увагу на положення рукояток керування.

А.3 Вимоги безпеки під час виконання роботи

А.3.1 Під час виконання роботи забороняється дотикатись до оголених провідників, струмопровідних частин приладу.

А.3.2 У випадку припинення досліду обов'язково треба вимкнути з мережі прилади.

У всіх випадках виявлення несправності приладів негайно доповісти викладачу та вимкнути прилади та обладнання з мережі.

А.4 Вимоги безпеки після закінчення роботи

А.4.1 Після закінчення робіт необхідно вимкнути прилади та обладнання.

А.4.2 Прибрати робоче місце.

А.4.3 Про всі несправності в роботі приладів і обладнання повідомити викладача.

А.4.3 Вимкнути світло та зачинити приміщення.

А.5 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

А.5.1 Якщо при дотику до неструмопровідних частин електроприладу відчувається електричний струм, необхідно вимкнути прилад.

А.5.2 При пожежі чи займанні необхідно викликати пожежників за телефоном **01 (9-01)**.

А.5.3 Вимкнути обладнання від електромережі; покинути небезпечну зону і приступити до гасіння пожежі первинними засобами пожежегасіння.

А.5.4 При нещасному випадку очевидець, робітник, що виявив факт травмування, або сам постраждалий (якщо це можливо) зобов'язаний викликати лікаря або швидку допомогу за телефоном **5-11** або **03 (9-03)**, вжити заходів щодо надання першої медичної допомоги постраждалому.

Необхідно також, якщо це потрібно, зберегти до прибуття комісії з розслідування обстановку, що була на момент травмування, якщо це не загрожує життю або здоров'ю інших людей і не призведе до більш важких наслідків.

А.5.5 При ураженні електричним струмом, якщо постраждалий дихає рідко або в нього відсутні ознаки життя (не прослуховується дихання, немає пульсу, розширенні зіниці очей) необхідно негайно

зробити штучне дихання “рот в рот” і непрямий масаж серця (при цьому необхідно організувати виклик швидкої допомоги); при пораненні – накласти стерильну пов’язку; при кровотечі – рану закрити стерильною пов’язкою і тримати в такому стані 3-5 хвилин. Якщо кровотеча припинилась, пов’язку закріпити бинтом. При переломах, ударах, вивихах чи розтягуванні забезпечити спокійне і зручне положення ушкодженої частини тіла.

А.5.6 Про всі аварійні ситуації і нещасні випадки слід доповідати зав. кафедри.