

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ  
ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**М. Л. Казакевич,  
В. В. Сухов,  
О. Г. Архипов**

**МЕХАНІКА МАТЕРІАЛІВ І КОНСТРУКЦІЙ  
ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ  
(Частина 2)**

**Навчальний посібник**

Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського  
як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальністю 134 Авіаційна  
та ракетно-космічна техніка

Електронне мережне навчальне видання

Київ

КПІ ім. Ігоря Сікорського

2022

Рецензенти *Троїцький В. О., д.т.н., професор, зав відділом Інститут електрозварювання НАН України ім. Є.О. Патона;*

Відповідальний редактор *Дереча В. Я., зав відділом ДП «АНТОНОВ»*  
*Лупкін Б. В., д.т.н., професор, професор НАУ ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»*

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського  
(протокол No 6 від 24.06.2022 р.)  
за поданням Вченої ради Навчально-наукового Інституту аерокосмічних технологій (протокол No 5/22 від 31.05.2022 р.)  
Рішення кафедри АРБ НН ІАТ (протокол No 13 від 09 червня 2022 р.)*

Навчальний посібник з кредитного модуля «Мезаніка матеріалів і конструкцій. Лабораторний практикум (Частина 2)» розроблений для виконання практичних та лабораторних робіт в очній або дистанційній формі навчання здобувачів ступеня бакалавра за спеціальністю 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка» КПІ ім. Ігоря Сікорського. У навчальному посібнику наведені методи неруйнівного контролю, які впроваджені у процес виготовлення та технічну діагностику авіаційних та аерокосмічних конструкцій.

Реєстр. № НП 21/22-607. Обсяг 3,4 авт. арк.

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

проспект Перемоги, 37, м. Київ, 03056  
<https://kpi.ua>

Свідectво про внесення до Державного реєстру видавців, виготовлювачів  
і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 5354 від 25.05.2017 р.

©М.Л. Казакевич, В.В.Сухов, О.Г.Архипов, 2022  
©КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022

## ЗМІСТ

Загальні методичні вказівки до виконання лабораторного практикуму.....	4
Вступна лекція Огляд методів неруйнівного контролю.....	8
Практична робота № 1	
Основи методу та засоби магнітопорошкового контролю .....	12
Лабораторна робота № 1	
Магнітопорошковий контроль авіаційних конструкцій .....	18
Практична робота № 2	
Вивчення капілярних властивостей та їх використання, як засобів «зеленої (екологічної) хімії» .....	23
Лабораторна робота № 2	
Капілярний неруйнівний контроль авіаційних конструкцій .....	27
Практична робота № 3	
Основи методу та засоби візуально-оптичного неруйнівного контролю.....	31
Лабораторна робота № 3	
Візуально-оптичний неруйнівний контроль деталей авіаційних конструкцій.....	36
Практична робота №4	
Неруйнівні методи контролю виробів з композиційних матеріалів .....	41
Лабораторна робота №4	
Вимірювання температури за допомогою пірометра.....	50
Практична робота № 5	
Основи вихрострумowego методу неруйнівного контролю .....	55
Лабораторна робота № 5	
Вихрострумовий метод неруйнівного контролю авіаційних конструкцій.....	60
Практична робота № 6	
Ультразвуковий метод неруйнівного контролю авіаційних конструкцій.....	66
Лабораторна робота № 6	
Ультразвуковий метод неруйнівного контролю.....	70
Практична робота № 7	
Методи та засоби течешукання окремих конструкцій літака. контроль герметичності.....	72
Лабораторна робота № 7	
Методи течешукання окремих конструкцій літака та контроль проникаючими речовинами.....	75
Практична робота №8	
Впровадження та застосування методів неруйнівного контролю в авіації .....	80
Список рекомендованої літератури. Навчально-методичні матеріали з дисципліни.....	81

## **ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМУ**

Ресурс аерокосмічної техніки безпосередньо пов'язаний з попередньою історією конструювання, виробництва та технічної діагностики виробів. Лабораторний практикум «Методи неруйнівного контролю авіаційних та ракетних конструкцій» має надати систематизовані уявлення про методи неруйнівного контролю з метою врахування ресурсних вимог в процесі конструювання авіаційних та ракетних виробів.

Почнемо з термінології:

випробування — експериментальне визначення кількісних та/або якісних характеристик устаткування;

граничний технічний стан устаткування — стан устаткування, при якому подальша експлуатація або відновлення його працездатного стану неможливі чи недоцільні;

граничний строк експлуатації устаткування — встановлені експлуатаційними документами строк експлуатації або величина ресурсу, після закінчення (вичерпання) яких експлуатація устаткування припиняється;

експертне обстеження (технічне діагностування, контроль) — комплекс робіт з визначення технічного стану, умов і строку подальшої безпечної експлуатації устаткування з урахуванням режиму роботи, а також визначення потреби у проведенні ремонту, модернізації, реконструкції або виведенні з експлуатації (далі – експертне обстеження);

ресурс устаткування — строк експлуатації або величина ресурсу устаткування від моменту його експертного обстеження до переходу у граничний технічний стан;

огляд — контроль технічного стану, що здійснюється переважно з використанням методів і засобів вимірювальної техніки, номенклатуру яких встановлено організаційно-методичними документами;

організаційно-методичні документи — методики, інструкції, інші документи щодо проведення огляду, випробування та експертного обстеження устаткування, затверджені в установленому порядку;

технічний огляд — комплекс робіт з контролю технічного стану, що здійснюється переважно з використанням методів і засобів вимірювальної техніки, номенклатуру яких встановлено організаційно-методичними документами, та випробування устаткування (повний технічний огляд) або тільки з огляду (частковий технічний огляд), що проводяться у строк, у випадках та в обсязі, визначених нормативно-правовими актами з охорони праці, організаційно-методичними та експлуатаційними документами;

технічний стан устаткування — стан устаткування в певний момент часу і в певних умовах зовнішнього середовища, який характеризується значенням параметрів, установлених технічними та експлуатаційними документами;

ремонт - відновлення пошкоджених, зношених або таких, що стали непридатними з будь-якої причини, елементів виробу, з доведенням його до робочого, надійного і безпечного стану. Розслідування аварій і нещасних

випадків, що сталися при експлуатації конструкцій проводиться відповідно до вимог відповідних галузевих документів та «Порядку проведення огляду, випробування та експертного обстеження (технічного діагностування) машин, механізмів, устаткування підвищеної небезпеки», який визначено постановою Кабінету Міністрів України від 26 травня 2004 р. №687.

Неруйнівний контроль (НК) є важливим елементом системи промислової безпеки, який виконують з метою експертизи виробничих об'єктів. Під НК розуміють перевірку відповідності об'єкта технічним вимогам конструкції без порушення придатності об'єкту до застосування. НК проводять не тільки для подовження терміну експлуатації відповідного авіавиробу, натомість й для оптимізації його конструкції.

Підготовка з напрямку знань щодо неруйнівного контролю авіаційних та космічних конструкцій проводиться за встановленими стандартизованими вимогами. Ці вимоги сформульовано за освітніми стандартами України, а також за галузевою міжнародною та європейською нормативно-технічною документацією, прикладом якої є :

ДСТУ EN 4179:2017 «Аерокосмічна серія. Кваліфікація і атестація персоналу для неруйнівного контролю»;

ДСТУ EN ISO 3452-3:2014 «Неруйнівний контроль. Капілярний контроль»,

ДСТУ EN ISO 16946:2017 «Неруйнівний контроль. Ультразвуковий контроль»;

ДСТУ EN ISO 12707:2017 «Неруйнівний контроль. Магнітопорошковий контроль»,

ДСТУ EN ISO 15548-3:2017 «Неруйнівний контроль. Обладнання для вихрострумового контролю» та т.п.

Практикум «Методи неруйнівного контролю авіаційних та ракетних конструкцій» має на меті надати систематизовані уявлення про принципи неруйнівного контролю, як галузі науки і техніки, про методи контролю авіаційної техніки і виявлення пошкоджень конструкцій, які знижують ресурс їх працездатності і дозволяють корегувати конструювання.

Основна увага приділяється методам та засобам аналізу стану аерокосмічних конструкцій, оцінки переваг та недоліків у їх застосуванні, оптимізації вибору методу неруйнівного контролю під час діагностики відповідної конструкції аерокосмічного об'єкту та умов контролю.

Задачі практикуму:

- сформулювати системні уявлення про методи неруйнівного контролю,
- ознайомитися з технологією робіт з неруйнівного контролю та прогнозуванням залишкового ресурсу конструкцій,
- засвоїти основні інженерні методики проведення неруйнівного контролю, які впроваджені у технічну діагностику та мають на меті оптимізацію аерокосмічних конструкцій.

## ТЕМИ НАВЧАЛЬНОГО МАТЕРІАЛУ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМУ

Методи та засоби магнітопорошкового контролю.

Вивчення капілярних властивостей та їх використання, як засобів «Зеленої (екологічної) хімії».

Основи методу та засоби візуально-оптичного неруйнівного контролю.

Основи методу та засоби ультразвукового методу неруйнівного контролю.

Основи методу та засоби вихрострумового методу неруйнівного контролю.

Основи теплових методів та відповідних засобів контролю. Неруйнівний контроль композиційних конструкцій літаків.

Контроль герметичності літаків.

Методи та засоби течешукання окремих конструкцій літака.

Виробнича практика застосування методів неруйнівного контролю в авіації зі складовими:

- Огляд промислового застосування засобів неруйнівного контролю (проводиться на базі ДП «АНТОНОВ» за згодою підприємства).
- Комплексні системи контролю якості продукції (показ документальних фільмів).
- Питання діагностики та ремонту окремих аерокосмічних конструкцій (на базі демонстраційної лабораторії ІАТ).

### ПЕРЕЛІК ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

- Магнітопорошковий контроль авіаційних конструкцій
- Капілярний неруйнівний контроль авіаційних конструкцій.
- Візуально-оптичний неруйнівний контроль деталей авіаційних конструкцій.
- Ультразвуковий метод неруйнівного контролю авіаційних конструкцій.
- Вихрострумовий метод неруйнівного контролю авіаційних конструкцій
- Вимірювання температури за допомогою пірометра.
- Методи течешукання окремих конструкцій літака та контроль проникаючими речовинами.

Методичний посібник розсилається студентам на початку курсу. Додатковий методичний матеріал - у списках рекомендованої літератури.

Загальна методика вивчення дисципліни базується на засвоєнні необхідних і достатніх теоретичних основ та отриманні практичних навиків. Навчальний матеріал повністю орієнтований на використання отриманих знань в сучасних умовах, що забезпечується відповідним його структуруванням.

Методичний посібник має блокову структуру, в якому окремий блок об'єднаний темою, має єдиний порядковий номер і містить практичну роботу з теоретичними відомостями з теми та лабораторну роботу з тієї ж теми.

Мета практичних та лабораторних занять – формування навиків використання теоретичного матеріалу дисципліни з подальшою орієнтацією на вирішення широкого спектру прикладних задач.

При підготовці та виконанні практичних робіт звіт повинен бути складений за стандартною формою, затвердженою в КПІ та містити такі матеріали:

- Титульний лист з реквізитами закладу, назвою роботи, підпис виконавця у визначеному місці, місце для підпису викладача,
- мета роботи;
- реферат щодо теоретичних відомостей з теми роботи, який містить відповіді на контрольні запитання,
- креслення або зображення з теми роботи.

При підготовці та виконанні лабораторних робіт звіт повинен містити такі матеріали:

- Титульний лист з реквізитами закладу, назвою роботи, підпис виконавця у визначеному місці, місце для підпису викладача,
- мета роботи, порядок проведення роботи;
- опис досліду, отримані дані та графіки розрахованих залежностей;
- висновки щодо аналізу отриманих результатів.

Виконання даного лабораторного практикуму вимагає наявності у студентів навичок користування персональними комп'ютерами, які здобуваються у процесі засвоєння шкільної та загальнотеоретичної університетської програм. У разі дистанційної форми проведення занять всі матеріали надаються викладачу в оцифрованому вигляді.

Студент допускається до проведення лабораторної роботи лише у випадку оформлення звіту відповідної (за тим же порядковим номером) практичної роботи.

Студент допускається до проведення наступних практичної та лабораторної роботи лише у випадку оформлення матеріалів попереднього блоку практичної та лабораторної роботи.

В запропонованому лабораторному практикумі спробуємо ознайомити та систематизувати знання з використання основних методів неруйнівного контролю, приладів та систем, орієнтованих на вирішення завдань конструювання, виготовлення та технічної діагностики авіаційних та ракетних виробів в Україні.

Методика виконання лабораторних та практичних робіт складена на основі освітньо-професійної програми підготовки для студентів спеціальності 134 "Авіаційна та ракетно-космічна техніка".

## ВСТУПНА ЛЕКЦІЯ

### ОГЛЯД МЕТОДІВ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ

Розвиток авіаційної, хімічної, нафтогазопереробної, вугільної, металургійної галузей промисловості, транспортних засобів, а також поява нових технологій, пов'язаних з переробкою газів, рідин і твердих речовин в складних умовах (високі температури, вологість, тиск, радіація), призводить до потреби, по-перше, у створенні нових технологічних можливостей контролю їх безпечного функціонування, а по-друге, у аналітичних приладах та матеріалах, які відрізняються надзвичайними властивостями та технічною різноманітністю до використання. Вірогідність техногенних аварій при експлуатації літаків великої вантажопід'ємності, супертанкерів, нафто- та газоводів, розташованих в тому числі на морському дні, атомних електростанцій та т.п. у значній мірі залежить від наявності та ефективної організації системи НК, а в першу чергу від створення досконалого парку засобів НК, що базується на досягненнях сучасної фізики, хімії та матеріалознавства.

Головною особливістю дефектоскопії є створення екологічно-безпечних засобів виявлення дефектів, з яких починається руйнація конструкцій. Зрозуміло, що ефективні методи і засоби діагностики залежать від парку сучасних приладів, що здійснюють аналітичні вимірювання як для забезпечення заданих параметрів технологічного процесу, так і для своєчасного виявлення дефектів при неруйнівному контролі. Вказані прилади повинні мати високі метрологічні характеристики та характеризуватись широким діапазоном призначень та великим розмаїттям технічних і споживчих характеристик.

Отже, задачі створення ефективних методів та технічних засобів для дефектоскопії завжди залишатимуться актуальними. Моніторинг та своєчасне усунення причин аварійних ситуацій дає можливість знизити технічні ризики при конструюванні.

Руйнування деталі або ділянки виробу починається з виникнення різноманітних небезпечних дефектів – «гарячих» та втомних тріщин, пор та інших зародків пошкодження.

Важкі умови експлуатації та мінімальні запаси міцності також призводять до початку процесу руйнування. Тому боротьба за підвищення якості конструкцій неможлива без її ретельної перевірки методами неруйнівного контролю.

На даний час актуальні та найбільш поширені в Україні наступні методи:

- Оптико-візуальний контроль (зовнішнім оглядом)
- Контроль проникаючими речовинами (течошукання)
- Контроль проникаючими речовинами (капілярний)
- Радіаційний контроль
- Магнітний контроль (Магнітопорошковий метод дефектоскопії)
- Ультразвуковий контроль (Акустичний контроль)
- Вихрострумний контроль
- Магнітний контроль (Магнітопорошковий метод дефектоскопії)



Ці методи ми будемо детальніше розбирати, а також оглядово познайомимось з іншими:

- Радіохвильовий контроль
- Електричний контроль
- Тепловий контроль
- Газорозрядна візуалізація

Саме головне, що об'єднує ці методи – те, що вони зберігають цілісність об'єктів контролю, дозволяючи виявити лише дефекти.

**Оптичний (оптико-візуальний) метод контролю**, як правило, застосовують в обов'язковому порядку. Він полягає в огляді конструкції та він дозволяє проводити обстеження окремих деталей і ділянок виробу, ідентифікувати окремі матеріали, форми та намітити план контролю. Цей метод дозволяє зафіксувати великі тріщини, механічні та корозійні пошкодження поверхні, порушення суцільності захисного покриття, залишкові деформації, течі, свищі, утяжини (стягання), крупні усадочні раковини та інші поверхневі дефекти.

Втім, контроль візуальним методом у великій мірі залежить від освітлення, оптичного контрасту дефекту та від суб'єктивних факторів (гостроти зору оглядача, ступеню втоми дефектоскопіста та досвіду його роботи. Недоліком методу є мала вірогідність виявлення дрібних або вузьких поверхневих дефектів, особливо втомних (усталостних) тріщин, «холодних» тріщин, корозійних тріщин під напругою, ножової корозії та т.п.

**Магнітний контроль (Магнітопорошковий метод дефектоскопії)** найбільш ефективний при контролі деталей з феромагнітних матеріалів, тим більше, що деталі можна зняти з конструкції або перевіряти не виймаючи з виробу. Він дозволяє проводити контроль різних за розміром і формі деталей, показує велику чутливість й достовірність контролю, має високу продуктивність.

Магнітопорошковим методом виявляють «холодні» та «гарячі» тріщини зварювання, тріщини втоми, непровари, неметалеві вclusions, ножову корозію та інші поверхневі та підповерхневі дефекти. Метод дозволяє точно встановити розташування підповерхневого дефекту, напрям його розповсюдження та протяжність.

Втім, метод не можна використовувати для виявлення дефектів в аустенітних сталях і в зонах сплавлення таких матеріалів з основним феромагнітним. Недоліком цього методу є необхідність попереднього видалення прошарку лакофарбового покриття (товщиною більш ніж 0.1-0.3 мм) та складність розшифровки результатів контролю у зв'язку з виявленням мнимих (уявних) дефектів.

**Радіаційні методи контролю** (за засобом вимірів: радіографічний, радіоскопічний, радіометричний) застосовують на заводах – виробниках (наприклад ДП «АНТОНОВ») і ремонтних підприємствах для виявлення внутрішніх дефектів конструкцій (тріщин, непроварів, усадочних раковин, пор, включень і т.п.).

Серед радіаційних методів найбільш розповсюджені **рентгенографічний та гаммографічний методи**. Рентгенографічний метод застосовують для контролю з еквівалентною по сталі товщиною 0,4 – 80 мм. Гаммографічний метод – при контролі з'єднань з товщиною по сталі до 250 мм. При радіографічних методах контролю забезпечується документальність (негатив) є можливість визначити характер, кордони, конфігурацію дефектів, іноді глибину їх залягання. За допомогою радіографічних методик можна проводити контроль всіх видів з'єднань і любых матеріалів.

Втім, радіаційні методи мають низку чутливості, яка дозволяє виявити дефекти з шириною розкриття не менше 0,1 мм, розташовані під кутом 5-10 град. до напрямку пучка випромінювання. До недоліків радіаційних методів відносяться також громіздкість і складність апаратури, порівняно низька продуктивність та висока коштовність контролю, важливим є необхідність забезпечення захисту працюючих від дії проникаючого шкідливого випромінювання.

**Ультразвуковий відлуння-імпульсний метод контролю** може бути використаний для перевірки різноманітних деталей, виготовлених з конструкційних сталей, титанових, нікелевих, алюмінієвих та інших сплавів. Він забезпечує виявлення внутрішніх та поверхневих дефектів: тріщин, пор, непроварів, металевих і неметалевих включень і т.п. з еквівалентною площею 2-5 мм<sup>2</sup> та більше, в тому числі розташованих у важкодоступних місцях конструкцій. Перевагою ультразвукового методу поряд з універсальністю досліджуваних матеріалів є також його низька коштовність.

Недоліками ультразвукового методу є необхідність розробки спеціальних методик та ультразвукових датчиків для кожного з'єднання, що контролюється, складність у порівнянні, скажімо з радіаційним методом, розшифровки результатів контролю, важкість (а в ряді випадків неможливість) контролю конструкцій складної форми, швів зачинених об'ємів, заповнених рідиною, з'єднань з грубою поверхнею (шорсткості (шероховатости) нижче 5 класу).

**Контроль проникаючими речовинами** включає контроль поверхневих дефектів (капілярний контроль) та метод контролю наскрізних дефектів (течешукання).

Капілярні методи (кольоровий, люмінесцентний та люмінесцентно-кольоровий) застосовують для контролю різних за формою і розміром деталей. Цей метод дуже чутливий для виявлення тріщин втоми, «холодних» й «гарячих» тріщин, міжкристалітної й ножової корозії та інших поверхневих дефектів. Методи мають порівняно з багатьма методами високу чутливість і дозволяють визначити місце розташування, напрям його розповсюдження і оцінити розмір дефекту.

Люмінесцентний та люмінесцентно-кольоровий методи обов'язкові за галузевими протоколами для деталей двигунів. Лопатки всіх турбовентиляторних двигунів обов'язково проходять люмінесцентний контроль. Особливу увагу приділяють стану замка і пера лопаток.

Кольоровий метод капілярного контролю використовують у будівельних роботах та ремонтних підприємствах для перевірки деталей та вузлів з різних матеріалів (двигунів, кріплення вікон та інших отворів на фюзеляжі і т.і.)

Контроль герметичності – необхідний елемент перевірки авіаційних систем. Так, в обов'язковому порядку випробування на герметичність проходять паливна, гальмівна та повітряна (газова) системи літака. Витік палива, рідини для гальм та кисню в системі життєзабезпечення мають критичне значення для функціонування літальних апаратів.

Методи контролю герметичності різних систем можуть значно відрізнятися. Так, наприклад паливну систему контролюють в основному пневматичним, гас-крейдовим і галоїдним методами. Герметичність фюзеляжу перевіряється за зниженням тиску і т.п.

Недоліком капілярних методів проникаючими речовинами є необхідність ретельної підготовки поверхні, а саме видалення лакофарбового покриття, окалини, насту флюсу та інших речовин з ділянок, що перевіряються. Незручною є порівняно висока працезатратність контролю, а також залежність результатів контролю від таких факторів, якщо наявні забруднення порожнини дефекту, напруги стискання в конструкції.

**Вихрострумний контроль** (метод вихрових струмів) може бути використаний для контролю кріплення вікон та інших отворів та деталей, виготовлених з титанових, алюмінієвих, нікелевих та інших немагнітних сплавів і аустенітних сталей. Цей метод заснований на формуванні в зоні дефекту вихрових струмів. Під такий контроль підпадають з'єднання будь якої товщини м навіть за наявності лакофарбових покриттів, окисів, мастил. Метод забезпечує виявлення різноманітних за формою тріщин, міжкристалітної корозії та інших поверхневих і підповерхневих дефектів, в тому числі з малою шириною розкриття ( від 0,5 мкм і більше), а також виявляє перекриття прошарків деформованого металу.

Перевагами методу є можливість контролю важкодоступних ділянок конструкції в умовах відсутності візуального спостереження зони, що перевіряється, а також невисока працезатратність контролю та належна продуктивність.

Втім, контроль методом вихрових струмів здебільшого залежить від зміни електропровідності матеріалу в зоні контролю. На результати контролю впливають також наявність місць наклепів на поверхні, значні зміни кривизни, зміни шорсткості а також інші фактори з різкою зміною параметрів структури матеріалу або рельєфу. Цей метод непридатний для виявлення тріщин у зварних з'єднаннях, виготовлених з різних металів, неможливим є наявність поблизу зони контролю феромагнітних деталей, наявність різких змін форми зварного шва, зміни електропровідності матеріалу більш ніж 20 % в зоні контролю.

Недоліками цього методу є також висока витрата сил дефектоскопіста, у зв'язку з необхідністю проводити контроль ручним способом тримаючи прибор для контролю поверхонь з великим розміром чи довжиною, як правило з наявною кривизною рельєфу і необхідністю зміни датчиків - пристроїв для вимірювання електричного струму. Тому метод вихрових струмів

використовують в основному в тих випадках, коли неможлива або недоцільна перевірка капілярними методами у зв'язку з недоступністю зони контролю, коли не можна видалити лакофарбові та інші покриття.

Головним завданням вибору методу неруйнівного контролю є забезпечення достовірного виявлення неприпустимих дефектів для продовження ресурсу конструкції. У деяких випадках для перевірки технічного стану відповідальних об'єктів застосовують комплекс методів контролю. Для його правильного вибору необхідно знати технічні можливості та особливості кожного методу і враховувати дефектоскопічні характеристики перевіряємих деталей конструкцій.

До основних характеристик відносяться: вид об'єкту, фізичні характеристики матеріалу, форма деталей і зони контролю, якість поверхні, тип і товщина захисних покриттів, доступність зон контролю, вид і стан забруднення дефекту, місце його розташування. Комплекс методів контролю вибирають також у тих випадках, коли у виробі мають місце дефекти різного типу, які не можливо виявити одним методом.

## **ПРАКТИЧНА РОБОТА № 1**

### **ОСНОВИ МЕТОДУ ТА ЗАСОБИ МАГНІТОПОРОШКОВОГО КОНТРОЛЮ**

**Мета заняття:** засвоєння теоретичних знань щодо особливостей магнітопорошкового методу неруйнівного контролю.

#### **Теоретичні відомості**

**Магнітний контроль (Магнітопорошковий метод дефектоскопії)** найбільш ефективний при контролі деталей з феромагнітних матеріалів, тим більше, що деталі можна зняти з конструкції або перевірити не виймаючи з виробу. Він дозволяє проводити контроль різних за розміром і формі деталей, показує велику чутливість й достовірність контролю, має високу продуктивність.

Магнітопорошковим методом виявляють «холодні» та «гарячі» тріщини зварювання, тріщини втоми, непровари, неметалеві вclusions, ножову корозію та інші поверхневі та підповерхневі дефекти. Метод дозволяє точно встановити розташування підповерхневого дефекту, напрям його розповсюдження та протяжність.

Втім, метод не можна використовувати для виявлення дефектів в аустенітних сталях і в зонах сплавлення таких матеріалів з основним феромагнітним. Недоліком цього методу є необхідність попереднього видалення прошарку лакофарбового покриття (товщиною більш ніж 0.1-0.3

мм) та складність розшифровки результатів контролю у зв'язку з виявленням мнимих (уявних) дефектів.

Магнітопорошковий метод - це один з методів магнітного неруйнівного контролю поверхонь виробів з феромагнітних матеріалів в їх виробництві та експлуатації.

Магнітний неруйнівний контроль заснований на аналізі взаємодії магнітного поля з аналізованим об'єктом шляхом вимірювання параметрів магнітних полів, виникаючих при намагнічуванні.

***Складові магнітного неруйнівного контролю.***

- магнітоферрозондовий метод.
- магнітографний метод.
- магнітна структуроскопія і магнітна товщинометрія.
- магнітопорошковий метод.

***Дефекти, виявлені магнітними методами:***

- волосовини;
- шаруватість пластинчатая;
- тріщини різного походження;
- раковини усадкові;
- надриви;
- зморшки.

***Дефектоскопічні матеріали:***

- магнітні порошки;
- люмінесцентні магнітні порошки;
- магнітні суспензії;
- магнітогумміровані пасти.

Магнітопорошковий метод (МПК) - один з найпоширеніших, надійних і продуктивних варіантів магнітного методу неруйнівного контролю поверхонь виробів з феромагнітних матеріалів в їх виробництві та експлуатації. Він заснован на візуальній реєстрації дефектів по накопиченню феромагнітних частинок біля полів магнітного розсіювання.

МПК – відносять до чотирьох класичних методів неруйнівного контролю авіаційних конструкцій. Це один з найбільш старих методів НК, пов'язаних із застосуванням приладів та дефектоскопічних матеріалів для НК. Перші дослідження описали феномен полів магнітного розсіювання і пояснили їх значення. Згодом були зроблені спроби знайти застосування цьому явищу і ввести його в технічну практику. У 1868 році англієць Саксбі застосував компас для визначення дефектів в гарматних стовбурах. У 1917 році американець Хок застосував залізні ошурки для виявлення тріщин в сталевих деталях.

Суть методу така: магнітний потік в бездефектній частині виробу не змінює свого напрямку; якщо ж на шляху його зустрічаються ділянки із зниженою магнітною проникністю, наприклад дефекти у вигляді розриву суцільності металу (тріщини, неметалічні включення і т.д.), то частина силових ліній магнітного поля виходить з деталі назовні і входить в неї назад. При цьому виникають місцеві магнітні полюси (N і S) і, як наслідок, магнітне поле над

дефектом. Так як магнітне поле над дефектом неоднорідне, то на магнітні частинки, що потрапили в це поле, діє сила, яка прагне затягнути частинки в місце найбільшої концентрації магнітних силових ліній, тобто до дефекту. Частинки в області поля дефекту намагнічуються і притягуються один до одного як магнітні диполі під дією сили так, що утворюють ланцюгові структури, орієнтовані по магнітним силовим лініям поля.

Метод магнітопорошкового контролю призначений для виявлення тонких поверхневих і підповерхневих порушень суцільності металу - дефектів, що поширюються вглиб виробів. Такими дефектами можуть бути тріщини, волосовини надриви, флокени, непровари, пори. Найбільша вірогідність виявлення дефектів досягається у випадку, коли площа дефекту становить кут  $90^\circ$  з напрямком намагнічуючого поля (магнітного потоку). Зі зменшенням цього кута чутливість знижується і при кутах, значно менших  $90^\circ$  дефекти можуть бути не виявлені.

#### **Обладнання:**

##### **Дефектоскопи для магнітопорошкового контролю.**

(класифікація в залежності від умов застосування, рівня автоматизації)

- дефектоскоп МД-50. Структурна схема, основні характеристики, область застосування;
- переносний магнітопорошковий дефектоскоп ПМД-70. Структурна схема, основні характеристики, область застосування;
- переносний дефектоскоп Магекс 1 (2,3);
- портативні електромагніти;
- пересувні;
- магнітні стенди;
- автоматизовані і роботизовані дефектоскопи з автоматичною фіксацією (магнітне поле розсіювання).

##### **Чутливість магнітопорошкової дефектоскопії(МПД) визначається:**

- магнітними характеристиками матеріалу контрольованого виробу (магнітною індукцією ),
- залишковою намагніченістю ,
- максимальною магнітною проникністю ,
- коерцитивною силою,
- шорсткістю поверхні контролю,
- напруженістю що намагнічує поле, його орієнтацією по відношенню до площини дефекту,
- якістю дефектоскопічних засобів і освітленістю контрольованої поверхні.

Ідею методу магнітопорошкової дефектоскопії приписують Вільяму Є. Хоку (W. E. Hoke) і навіть називають дату - 1922, коли він зробив заявку на патент. Однак до 1929 р для розвитку цієї ідеї нічого майже не було зроблено внаслідок недосконалості наявної тоді техніки намагнічування і відсутності відповідних коштів випробування. У 1929 р А. В. Де-Форест намагався застосувати цей метод для виявлення поздовжніх дефектів в буринних трубах, намагнічуючи їх циркулярним полем постійного струму, але через

недосконалість порошку (сталеві тирса) йому не вдалося вирішити цю задачу. У 1930 р Т. Р. Уоттс (T. R. Watts) опублікував дослідження, в якому вперше вказав на можливість застосування методу для випробування якості зварних швів. У тому ж році робиться перша спроба застосувати метод в галузі авіаційної промисловості. Аж до 1934 р метод продовжував залишатися у всіх країнах лабораторної рідкістю. Цілком закінчені і спеціально сконструйовані промислові дефектоскопи починають з'являтися з 1934 р.

Магнітопорошковий метод контролю заснований на явищі тяжіння частинок магнітного порошку в місцях виходу на контрольовану поверхню виробу магнітного потоку, пов'язаного з наявністю порушення цілісності матеріалу. У намагнічених виробах порушення цілісності (дефекти) викликають перерозподіл магнітного потоку і вихід частини його на поверхню (магнітний потік дефекту). На поверхні виробу створюються локальні магнітні полюси, що притягають частинки магнітного порошку, в результаті чого утворюються ланцюжки намагнічених частинок, які позначають дефектні ділянки, орієнтовані по магнітних силових ліній поля.

Процес магнітопорошкового контролю складається з 5 етапів:

1 - підготовка виробів до контролю. Вироби, що подаються на намагнічуючі пристрої, повинні бути очищені від покриттів, що заважають їх намагнічванню або змочуванню (відшаровується окалина, масла, бруд, іноді ізоляційні покриття і т. п.).

2 - намагнічування деталі. Намагнічення деталі є однією з основних операцій контролю. Від правильного вибору способу, напрямку та виду намагнічування, а також роду струму в чому залежить чутливість і можливість виявлення дефектів.

3 - нанесення на поверхню деталі магнітного індикатора (порошку або суспензії). Оптимальний спосіб нанесення суспензії полягає в зануренні деталі в бак, в якому суспензія добре перемішана, і в повільному видаленні з нього. Однак цей спосіб не завжди технологічний. Найчастіше суспензію наносять за допомогою шланга, душа або аерозольного балона. Напір струменя повинен бути досить слабким, щоб не змивався магнітний порошок з дефектних місць. При сухому методі контролю ці вимоги відносяться до тиску повітряного струменя, за допомогою якої магнітний порошок наносять на деталь. Час стікання з деталі дисперсного середовища, що має велику в'язкість, відносно велике, тому продуктивність праці контролера зменшується.

4 - контроль. Контроль деталі проводиться візуально після стікання з неї основної маси суспензії, коли картина відкладень порошку стає незмінною. У сумнівних випадках і для розшифровки характеру дефектів застосовують

оптичні прилади, тип і збільшення яких встановлюють за нормативними документами.

5 - розмагнічування. Для розмагнічування на виріб впливають змінним магнітним полем з напруженістю, спадної від максимального значення до нуля. Вироби, що нагріваються після магнітного контролю до 600 ... 700 ° С і вище, розмагнічувати не слід.

### **Методика застосування магнітопорошкового контролю**

Магнітопорошковий метод застосовується для виявлення в об'єктах різних розмірів і форми, виготовлених з феромагнітних матеріалів, поверхневих і підповерхневих дефектів. За допомогою магнітопорошкового методу можуть бути виявлені різні тріщини, волосовини і непровари зварних з'єднань та інші дефекти шириною розкриття кілька мікрометрів. Метод може бути використаний для контролю об'єктів з немагнітним покриттям.

### **Існують різні види магнітопорошкового контролю:**

- «Сухий» і «мокрый» способи нанесення індикатора на контрольований об'єкт
- Флуоресцентний або кольоровий індикатор для контролю при ультрафіолетовому (УФ) або денному світлі

*До недоліків* магнітопорошкового контролю слід віднести необхідність видалення захисних лакофарбових покриттів товщиною понад 0,03 мм і складність розмагнічування деяких деталей. З метою підвищення якості контролю зварних з'єднань та зниження ймовірності пропуску дефектів за стандартом з 2017 року вводиться магнітопорошковий метод неруйнівного контролю на додаток до інших застосовуваних методів НК.

Найбільша вірогідність виявлення дефектів досягається в разі, коли площа дефекту становить кут 90 град. з напрямком поля, що намагнічує (магнітного потоку). Зі зменшенням цього кута чутливість знижується і при кутах, істотно менших 90 град. дефекти можуть бути не виявлені.

*Перевагами* магнітопорошкового контролю є його відносно невелика трудомісткість, висока продуктивність і можливості виявлення поверхневих і підповерхневих дефектів. За допомогою цього методу виявляються не тільки порожні несплошності, а й дефекти, заповнені чужорідною речовиною. Магнітопорошковий метод може бути застосований не тільки при виготовленні конструкцій і деталей, але і в ході їх експлуатації, наприклад, для виявлення втомних тріщин.

Магнітопорошковий метод призначений для виявлення поверхневих і підповерхневих (на глибині до 1,5-2 мм) дефектів типу порушення суцільності



матеріалу: тріщини, волосовини, розшарування, непровари стикових зварних з'єднань і т.п.

Магнітопорошковим методом можна контролювати конструкції будь-яких габаритних розмірів і форм, якщо магнітні властивості матеріалу (відносна максимальна магнітна проникність не менше 40) дозволяють намагнічувати його до ступеня, достатнього для створення поля розсіювання дефекту, здатного притягнути частинки феромагнітного порошку.

**Магнітопорошковий метод застосовується практично у всіх галузях промисловості:**

- авіапромисловість та космічна галузь,
- машинобудування,
- автомобільна промисловість,
- металургія,
- транспорт (авіація, залізничний, автотранспорт),
- суднобудування,
- будівництво (сталеві конструкції, трубопроводи).

#### **Список використаних джерел**

1. Курс лекцій з магнітопорошкового методу неруйнівного контролю, А. Марцинкевич Минск 2010;
- 2.Троицкий В. А. Магнитопорошковый контроль сварных соединений и деталей машин. — Киев: Феникс, 2002. —300 с.
3. Неразрушающий контроль. Проспект фирмы «HellingGMBH». — 2004. — 37 с.

#### **КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ**

1. На чому заснований магнітопорошковий метод контролю виробів?
2. Які види намагнічування застосовуються в магнітопорошковому контролі?
3. Зробіть креслення або розмістіть зображення деталі аерокосмічної конструкції, яку перевіряють магнітопорошковим методом контролю.

#### **ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ:**

1. Засвоїти теоретичний матеріал.
2. Відповісти на контрольні запитання.
3. Оформити короткий реферат з відповідями на контрольні запитання та відповідним кресленням або зображенням.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

### МАГНІТОПОРОШКОВИЙ КОНТРОЛЬ АВІАЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙ

**Мета заняття:** вивчення особливостей магнітопорошкового методу неруйнівного контролю.

**Завдання :** Виявити поверхневі дефекти, оцінити розмір розкриття, опробувати метод з різними типами дефектів, на різних матеріалах конструкцій та конфігурації поверхні.

Магнітопорошкова дефектоскопія (МПД) - метод неруйнівного контролю для виявлення і локалізації поверхневих і підповерхневих дефектів феромагнітних матеріалів (важливо - у вимірюваних матеріалів повинна бути відносна магнітна проникність не менше 40).

За національним стандартом ДСТУ EN ISO 12707:2017 магнітопорошковий контроль поширюється на неруйнівний контроль напівфабрикатів, деталей, вузлів, елементів конструкцій та інших об'єктів з феромагнітних матеріалів зі сталей звичайної якості, вуглецевих низьколегованих і високолегованих сталей в умовах виробництва, ремонту і експлуатації.

**Магнітопорошковий метод дефектоскопії ґрунтується** на виявленні локальних магнітних полів розсіювання, що виникають над дефектами. До дефектів, що діагностуються за допомогою такого методу, відносяться: непровар, пори, тріщини, волосовини, флок і інші (дефекти з шириною розкриття до декількох мкм на глибині до 1-2 мм).

**Магнітопорошкова дефектоскопія (МПД)** - метод неруйнівного контролю для виявлення і локалізації поверхневих і підповерхневих дефектів феромагнітних матеріалів (важливо - у вимірюваних матеріалів повинна бути відносна магнітна проникність не менше 40).

**Чутливість магнітопорошкового методу залежить:**

- від магнітних характеристик матеріалу деталі,
- напруженості намагнічуючого поля,
- розміру, форми і шорсткості поверхні деталі,
- розміру, форми, розташування і орієнтації дефекту,
- взаємного напрямку намагнічуючого поля і дефекту,
- властивостей дефектоскопічного матеріалу,
- способу нанесення дефектоскопічного матеріалу на поверхню деталі,
- способу і умов реєстрації індикаторного малюнка виявляемого дефекту.

**Цим методом виявляються дефекти:**

- поверхневі з шириною розкриття у поверхні 0,002 мм і більше, глибиною 0,01 мм і більше,
- підповерхневі, що лежать на глибині до 2 мм,
- внутрішні (великих розмірів), що лежать на глибині понад 2 мм,

- під різного роду покриттями, але за умови, що товщина немагнітного покриття не більше 0,25 мм.

#### **Суть магнітопорошкового контролю:**

Магнітний потік в бездефектній частині виробу не змінює свого напрямку. Якщо ж на шляху магнітного потоку зустрічаються ділянки зі зниженою магнітною проникністю, наприклад, дефекти у вигляді розриву суцільності металу (тріщини, неметалеві включення і т.д.), то частина силових ліній магнітного поля виходить з деталі назовні і входить в неї знов, при цьому виникають місцеві магнітні полюси (N і S) і, як наслідок, магнітне поле над дефектом. Оскільки магнітне поле над дефектом неоднорідне, то на магнітні частинки, що потрапили в це поле, діє сила, яка прагне затягнути частки в місце найбільшої концентрації магнітних силових ліній, тобто до дефекту. Частинки в області поля дефекту намагнічуються і притягуються один до одного як магнітні диполі під дією сили так, що утворюють ланцюгові структури, орієнтовані по магнітних силових лініях поля. Магнітні частинки порошку, потрапляючи в поле дефекту під дією електричного струму, намагнічуються і в результаті переміщаються в зону найбільшої неоднорідності магнітного поля. Частинки притягуються один до одного, шикуються в ланцюжки, орієнтуючись по магнітних силових лініях поля, і, накопичуючись, утворюють характерні малюнки у вигляді валиків, за якими судять про наявність дефекту.

#### **Переваги магнітопорошкової дефектоскопії:**

- Витратні матеріали (порошок, суспензія і ін.) можна збирати і використовувати повторно, як наслідок маємо низьку вартість витратних матеріалів,

- Низькі вимоги до якості покриття,
- мала трудомісткість і досить висока оперативність вимірів.

#### **Недоліки магнітопорошкової дефектоскопії:**

- Обмеження для отримання достовірного результату (найбільша ймовірність виявлення дефектів досягається в разі, коли площа дефекту становить кут 90 градусів з напрямком магнітного потоку. Зі зменшенням цього кута чутливість методу знижується, і при кутах, істотно менших 90 градусів, дефекти можуть бути не виявлені),

- Високий вплив стану поверхневого шару металу вимірюваного контрольованого об'єкта (т.зв. "зони наклепу", де напруги можуть перевищувати напруги основного металу в тисячі разів),

- Нерівномірність магнітних властивостей металу,
- Зниження чутливості методу при товщині покриття більше 100-150 мкм - можуть бути виявлені дефекти розміром не менше 0,15 мм,
- Виявлення переважно поверхневих дефектів або дефектів з мінімальним заляганням під поверхнею.

#### **Прилади магнітопорошкової дефектоскопії**

Основними приладами для магнітопорошкового методу дефектоскопії є магнітопорошкової дефектоскопії (підрозділяються на переносні і стаціонарні), переносні електромагніти та витратні матеріали (аерозолі, концентрати і суспензії).

## **Опис лабораторного обладнання та матеріалів**

1. Матеріали для очищення поверхні ОЖ-1А, ОЖ-1.
2. Прилад для намагнічування об'єкту контролю МАГЕКС-1М.



Рис.1.1 Прилад для намагнічування

3. Джерело ультрафіолетового випромінювання Yato YT-08581 з захисними окулярами.
4. Матеріали для ідентифікації дефектів: чорний магнітний порошок ДІАГМА-1100, магнітолюмінесцентна суспензія ДІАГМА-1613.
5. Зразки-еталони.



Рис.1.2 Зразок-еталон

6. Натурні зразки як об'єкти контролю.

## **Порядок ведення роботи**

Роботу проводити в наступній послідовності:

1. Підготовка деталі до контролю. Полягає в очищенні поверхні вимірюваної деталі від бруду, іржі, різних мастильних матеріалів. У випадках, коли поверхня деталі темна (що може ускладнювати діагностику) - наносять тонким шаром контрастну білу фарбу.
2. Намагнічення деталі. Це - один з основних етапів контролю. Від правильного вибору способу напрямку та виду намагнічування, а також типу струму (перемінний або постійний струм) залежить чутливість і можливість виявлення дефектів.

3. Нанесення магнітного індикатора. Залежно від методу нанесення (сухий або мокрий спосіб контролю) використовують або сухий порошок, або суспензію (суміші води з антикорозійними речовинами, суміші трансформаторного масла з гасом).

4. Огляд контрольованого об'єкта. Вивчення індикаторного малюнка. Деталі вивчаються візуально, в деяких випадках можуть використовуватися оптичні прилади зі збільшенням до 10х.

#### Список використаних джерел

1. Курс лекцій з магнітопорошкового методу неруйнівного контролю, А. Марцинкевич, Минск 2010;

2.ТроицкийВ.А. Магнитопорошковый контроль сварных соединений и деталей машин. — Киев: Феникс, 2002. —300 с.2

3. Неразрушающий контроль. Проспектфирмы «HellingGMBH». — 2004. — 37 с.6.

#### **Оформлення результатів виконання роботи:**

1. Описати етапи проведення контролю.

2. Зробити отриманий індикаторний малюнок, як результат проведення контролю.

3. Заповнити Акт проведення контролю магнітопорошковим методом та висновки (форма Акту наближена до реального документу контролю за стандартом України, додається).

4. Зробити і записати висновки.

## АКТ проведення магнітопорошкової дефектоскопії

Порядок проведення лабораторної роботи (описати етапи)

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.
- 5.

Проведено..... контроль  
об'єкта: \_\_\_\_\_

Дефектоскопія об'єкта проведена «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р в ауд. \_\_\_\_\_  
студентами: \_\_\_\_\_ студента групи  
\_\_\_\_\_ студента групи  
\_\_\_\_\_ студента групи  
\_\_\_\_\_ студента групи

Використані для проведення діагностики прилади та матеріали:

ПРОГРАММА ДОСЛІДІВ:

ВИСНОВОК:

Підписи виконавців (групи студентів): \_\_\_\_\_ /  
\_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ /  
\_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ /  
\_\_\_\_\_ /

## ПРАКТИЧНА РОБОТА № 2

### ВИВЧЕННЯ КАПІЛЯРНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТА ЇХ ВИКОРИСТАННЯ, ЯК ЗАСОБІВ «ЗЕЛЁНОЇ (ЕКОЛОГІЧНОЇ) ХІМІЇ».

**Мета заняття:** засвоєння теоретичних знань щодо особливостей капілярного методу неруйнівного контролю.

**Актуальність:** Розвиток та поява численних технологій виробництва призвело до надходження небезпечних хімікатів у довкілля. Серед новітніх напрямів досліджень у хімії та біології, які з'явилися як відгук на глобальні екологічні процеси та технологічні виклики. Зелёна хімія (екологічна хімія) — хімічні дослідження та інженерія створення продуктів або інспектування процесів, які дозволять мінімізувати виробництво та використання шкідливих речовин.

Капілярні методи неруйнівного контролю (НК) засновані на капілярному проникненні індикаторних рідин (пенетрантів) в порожнини поверхневих і наскрізних дефектів у об'єктах контролю і реєстрації індикаторних слідів візуальним способом.

**Капілярні явища** - явища, викликані впливом сил міжмолекулярної взаємодії на рівновагу і рух вільної поверхні рідини, поверхні розділу рідин з твердими тілами. Наприклад, підняття рідини в пористих матеріалах та у виробках з капілярними дефектами.

Для підйому рідини у капілярі має місце закон Жюрена:

Висота підняття рідини у капілярі пропорційна коефіцієнту поверхневого натягу рідини й обернено пропорційна радіусу капіляра і густині рідини. Отже,

$$h = \frac{2\sigma}{\rho g r}.$$

Вивчаючи біологічні явища вчені використовують механізми природних процесів для розвитку технологій і наукових досягнень.

Капілярний НК призначений для виявлення невидимих неозброєним оком поверхневих і наскрізних дефектів в об'єктах контролю, визначення їх розташування, протяжності (для об'єктів типу тріщин) та орієнтації на поверхні. Капілярним методом контролю можна виявити наступні типи дефектів:

- Холодні тріщини,
- Гарячі тріщини,
- Шліфовочні тріщини та тріщини втомлення,
- Пори різного розміру,
- Скупчення пор,
- Губчасту структуру,
- Корозійні тріщини.

Порожнини реальних тріщин найчастіше бувають тупиковими, мають форму вузького клина, вершина якого повернена вглиб матеріалу. Потрапляючи в таку тріщину проникна речовина змочує стінки порожнини і продовжує проникати вглиб її навіть після повного видалення з поверхні

контрольованого об'єкта. Потрапляючи в порожнину дефекту, рідина утримуватиметься в ньому капілярними силами.

Цей вид контролю дозволяє діагностувати вади об'єктів любых розмірів і форм, виготовлених з чорних і кольорових металів і сплавів, пластмас, скла, кераміки, інших твердих неферромагнітних матеріалів. Капілярний метод застосовують також для об'єктів, виготовлених з ферромагнітних матеріалів, якщо їх магнітні властивості, форма, вид і розташування дефектів не дозволяє досягти необхідної чутливості з допомогою магнітопорошкового методу.

Треба відмітити, що необхідною умовою виявлення порушень цілісності матеріалу типу порожнин має бути їх незабрудненість сторонніми речовинами.

Зображення, утворене пенетрантом в місці розташування дефекту і подібне формі перетину біля виходу дефекту на поверхню об'єкта контролю, називають індикаторним малюнком або слідом.

Капілярні методи контролю поділяють на основні, які використовують капілярні явища і комбіновані, основані на поєднанні двох або більше за фізичною сутністю методів контролю, один з яких є капілярним.

**Основні капілярні методи** класифікують залежно від типу речовини, яка проникає у дефект:

- метод проникних розчинів,
- метод фільтруючих суспензій що використовує в якості проникаючої речовини рідку суспензію, яка утворює індикаторний малюнок з відфільтрованих частинок дисперсної речовини. Методом фільтруючих суспензій контролюють пористі матеріали.

**Залежно від способу виявлення індикаторного малюнку** основні капілярні методи поділяють на наступні:

- люмінесцентний, заснований на реєстрації видимого індикаторного малюнку в разі освітлення ультрафіолетом,
- кольоровий (хроматичний), заснований на реєстрації кольорового індикаторного малюнку на білому фоні проявника на поверхні об'єкта контролю,-люмінесцентно-кольоровий, заснований на реєстрації кольорового люмінесцентного індикаторного малюнку,
- яскравий (ахроматичний), заснований на реєстрації ахроматичного малюнку на білому крейдяному тлі.

Набір дефектоскопічних матеріалів - це взаємозалежне поєднання індикаторного пенетранта, проявника і очищувача.

Індикаторний пенетрант -капілярний дефектоскопічний матеріал, що має здатність проникати в дефекти об'єкта контролю та ідентифікувати їх. Очищувач - матеріал, призначений для змивки надлишку пенетранта з поверхні об'єкта контролю. Проявник - матеріал, призначений для виймання пенетранта з капілярної порожнини. Витяг і локалізація пенетранта у країв дефектів досягаються властивостями проявника, як сорбента, що забезпечує більш високий кольоровий контраст. Залежно від стану проявники поділяють на порошки, суспензії, лаки і плівки.

Методи капілярної дефектоскопії широко застосовують внаслідок таких переваг перед іншими методами контролю:



високої чутливості до виявлення дефектів, високої роздільної здатності, відносно високої вірогідності результатів контролю, наочності та простоти, можливості контролю виробів різного ступеня складності, можливості достатньо точного визначення місця, розмірів і характеру дефектів, низької вартості засобів контролю.

Проте для таких методів характерні також недоліки: висока трудомісткість і досить велика тривалість процесу контролю, неможливість виявлення внутрішніх дефектів матеріалу, шкідливість та пожежонебезпека деяких пенетрантів.

Основними операціями капілярного НК є:

- підготовка об'єкту контролю,
- обробка об'єкта дефектоскопічними матеріалами,
- проявлення дефектів,
- розшифрування результатів контролю.

Підготовка об'єкта до контролю включає очищення поверхні від забруднень, видалення лако-фарбових покриттів, миючих і дефектоскопічних матеріалів, що залишилися від попереднього контролю, процес сушіння. Для попереднього очищення поверхонь у промислових масштабах застосовують механічну обробку струменем піску, дробу, кісточнової крихти і іншими абразивними матеріалами.

Для остаточної підготовки можуть використовувати:

- обробку в парах органічних розчинників,
- хімічне і електрохімічне очищення,
- ультразвукове очищення з використанням ультразвукового капілярного ефекту,
- сорбційне очищення сумішшю сорбенту і швидко висихаючого органічного розчинника.

Етап обробки об'єкта дефектоскопічними матеріалами полягає в заповненні порожнин дефектів індикаторним пенетрантом, видаленні його надлишку і нанесенні проявника.

Для заповнення порожнин дефектів застосовують такі способи:

- просочення порожнин дефектів індикаторним пенетрантом, що наноситься змочуванням, зануренням або розпиленням.
- вакуумне заповнення порожнин при тиску в них менше атмосферного,
- компресійне заповнення порожнин пенетрантом при впливі надлишкового тиску,
- заповнення порожнин з використанням ультразвукового ефекту,
- деформаційне заповнення при впливі на об'єкт контролю пружних коливань звукової частоти або статичного навантаження, що збільшує розкриття дефекту.

Для виявлення наскрізних дефектів пенетрант допускається наносити на поверхню, протилежну від контрольованої.

Надлишок індикаторного пенетранта видаляють одним з таких методів: протиранням серветками, змоченими очищувачем, промиванням водою або очищувачем (зануренням, розпиленням), обдуванням. При використанні водозмиваємих пенетрантів мокру поверхню просушують. Проявник

наносять:-розпиленням зі струменем повітря або безповітряним способом, шляхом створення повітряної суспензії порошко-подібного проявника, нанесення пензлем, посипанням порошковим проявником.

Способи виявлення індикаторного сліду: візуальне виявлення в тому числі із застосуванням оптики, фотоелектричне перетворення.

Об'єкти, що пройшли капілярний контроль, слід при необхідності піддавати антикорозійного захисту.

Капілярні явища важливі й у житті рослин, людей і тварин (в тілі дорослої людини біля 160 мільярдів капілярів, загальна довжина котрих 60 - 80 тисяч км). Саме у капілярах здійснюються основні процеси, які пов'язані із диханням й живленням організмів. На капілярних явищах ґрунтуються агротехнічні прийоми регулювання водного режиму ґрунту - закоткування і боронування.

Вивчаючи біологічні явища вчені використовують механізми природних процесів для розвитку технологій і наукових досягнень.

### Список використаних наукових джерел

1. Що таке «зелена хімія»? <http://fp.com.ua/articles/shho-take-zelena-himiya/>
2. Anastas P.T., Warner J.C. Green Chemistry: Theory and Practice. — New York: Oxford University Press, 1998.
3. Биология. Химия. //Большая школьная энциклопедия. М.: «Олма-Пресс», т.2, 6-11 кл., 2000. — 717 с.
4. Конспект уроку: Змочування. Капілярні явища. Явища змочування і капілярності в живій природі і техніці <http://yrok.net/lesson/katalog-urokiv/fizyka/10/konspekt-uroku-zmochuvannya-kapilyarni-yavishcha-yavishcha-zmochuvannya-i-kapilyarnosti-v-zhivij-prirodi-i-tekhmitsi.html>
5. Капілярна хімія. / Ред.Тамару К.- М.:Мир, 1993.-272 с.
6. Бударін Л.І., Касаєв Н.С., Наумов В.Н. Химические методы испытания изделий на герметичность. — К.:Наукова Думка, 1991, 206 с.
7. Patent N 100082, Ukraine, 10.07.2015. Способ контроля герметичности изделий/ Казакевич М.Л., Семенец, А.И., Дереча В.Я.
8. Казакевич М.Л. та ін. Нове покоління матеріалів для капілярної дефектоскопії і методи оцінки їх якості. Методи та прилади контролю якості, 2003, № 10, с. 36-40

### ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ:

1. Засвоїти теоретичний матеріал.
2. Відповісти на контрольні запитання.
3. Оформити короткий реферат з відповідями на контрольні запитання та відповідним кресленням або зображенням.

## КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Назвіть основні положення та область використання капілярного контролю.
2. Які види дефектів можна виявити капілярними видами контролю?
3. Сформулюйте основні операції капілярного контролю.
4. Зробіть креслення або розмістіть зображення деталі аерокосмічної конструкції, яку перевіряють капілярним методом контролю.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2 КАПІЛЯРНИЙ НЕРУЙНІВНИЙ КОНТРОЛЬ АВІАЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙ

**Мета заняття:** вивчення особливостей капілярного методу неруйнівного контролю.

**Завдання :** Виявити поверхневі дефекти, оцінити розмір розкриття, опробувати метод з різними типами дефектів, на різних матеріалах конструкцій та конфігурації поверхні.

### Порядок проведення

Процес виявлення дефектів капілярним методом поділяється на 5 стадій (Рис.2.1)

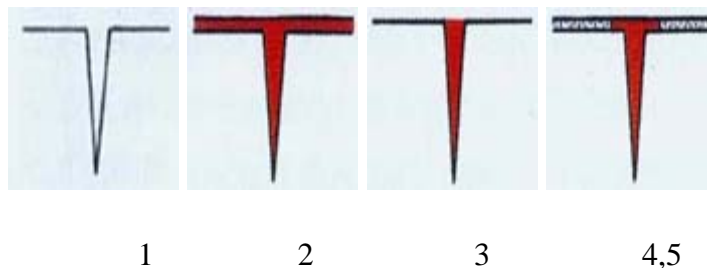


Рис.2.1 Схема проведення капілярного контролю

### Порядок ведення роботи

Роботу проводити в наступній послідовності:

1 стадія - попередня очистка поверхні. Для того, щоб барвник міг проникнути в дефекти на поверхні, її попередньо слід очистити водою або органічним очисником. Після цього поверхню висушується, щоб усередині дефекту не залишалося води або очисника.

2 стадія - нанесення пенетранта. Пенетрант, зазвичай червоного кольору, наноситься на поверхню шляхом розпилення, пензлем або зануренням ОК у ванну, для хорошої просочення і повного покриття пенетранта. Як правило, при температурі 5-50 °С, на час 5-30 хв.

3 стадія - видалення надлишків пенетранта. Надлишок пенетранта видаляється протиранням серветкою, промиванням водою. При цьому пенетрант повинен бути вилучений з поверхні, але ніяк не з порожнини дефекту. Поверхня далі висушується серветкою без ворсу або струменем повітря.

4 стадія - нанесення проявника. Після просушування на ОК наноситься проявник, зазвичай білого кольору, тонким рівним шаром.

5 стадія - контроль. Інспектування ОК починається безпосередньо після закінчення процесу проявлення і закінчується згідно різним стандартам не більше, ніж через 30 хв.

***Інтенсивність забарвлення говорить про глибину дефекту, ніж блідніше забарвлення, тим дефект дрібніше. Інтенсивне забарвлення мають глибокі тріщини. Після проведення контролю проявник видаляється водою або очисником.***

Згідно ДСТУ EN ISO 3452-3:2014 «Неруйнівний контроль. Капілярний контроль» клас чутливості контролю визначається в залежності від розміру дефектів, які виявляються. В якості параметра розміру дефекту приймається поперечний розмір дефекту на поверхні об'єкта контролю - так звана ширина розкриття дефекту.

Встановлено 4 класа чутливості (по нижньому порогу) в залежності від розмірів дефектів (Табл.2.1).

Таблиця 2.1 Класи чутливості.

Клас чутливості	Ширина розкриття дефекту, мкм
I	Менше 1
II	Від 1 до 10
III	Від 10 до 100
IV	Від 100 до 500

Метод капілярного контролю дозволяє виявляти поверхневі дефекти з розкриттям до **1 мкм** незалежно від їх типу, матеріалу конструкцій та конфігурації поверхні. Капілярний метод неруйнівного контролю є **ефективним тільки тоді, коли дефект виходить на поверхню.**

#### **Матеріали, що перевіряються**

- Леговані та нелеговані сталі
- Кольорові метали
- Покриття
- Вироби порошкової металургії
- Зварні з'єднання

- Скло
- Пластмаса
- Кераміка
- Синтетичні матеріали
- Тверді та непористі матеріали (композити)

#### **Індикація дефектів**

- Холодні тріщини
- Гарячі тріщини
- Шліфовочні та тріщини втомлення
- Пори різного розміру
- Скупчення пор,
- Губчата структура,
- Корозійні тріщини.

#### **Опис лабораторного обладнання та матеріалів**

1. Матеріали для капілярної дефектоскопії проілюстровані на Рис. 2.2. Матеріали для очищення поверхні ОЖ-1А, ОЖ-1 (тут і далі - всі матеріали виробництва ДП КОЛОРАН НАН України)
2. Пенітранти для кольорової дефектоскопії ЦЖ-1, ЦЖ-2.



Рис. 2.2 Матеріали для капілярної дефектоскопії

3. Пенітранти для люмінесцентної дефектоскопії ЛЖ-6А, ЛЖ-6АМ.
4. Проявники для кольорової дефектоскопії ПРМ-4.
5. Проявники для люмінесцентної дефектоскопії ПР-1.
6. Джерело ультрафіолетового випромінювання Yato YT-08581 з захисними окулярами.
7. Фонарь фокусируемый Police BL-2804-T6 Cree XM-L-T6.
8. Лупа 10х.
9. Зразки-еталони.
10. Натурні зразки як об'єкти контролю.

### Список використаних джерел

1. Конспект уроку: Змочування. Капілярні явища. Явища змочування і капілярності в живій природі і техніці <http://yrok.net/lesson/katalog-urokiv/fizyka/10/konspekt-uroku-zmochuvannya-kapilyarni-yavishcha-yavishcha-zmochuvannya-i-kapilyarnosti-v-zhivij-prirodi-i-tekhmitsi.html>
5. Капілярна хімія. / Ред.Тамару К.- М.:Мир, 1993.-272 с.
6. Бударін Л.І., Касаєв Н.С., Наумов В.Н. Химические методы испытания изделий на герметичность. – К.:Наукова Думка, 1991, 206 с.
7. Patent N 100082, Ukraine, 10.07.2015. Спосіб контролю герметичности изделий/ Казакевич М.Л., Семенец, А.И., Дереча В.Я.

### Оформлення результатів виконання роботи:

1. Описати етапи проведення контролю.
2. Заповнити Журнал проведення контролю капілярним методом (форма додається).
3. Зробити і записати висновки.

### ФОРМА ЖУРНАЛА ПРОВЕДЕННЯ КОНТРОЛЮ

Дата проведення контролю	Номер об'єкту контролю	Матеріал зразка, Визначення зони контролю	Набір дефектоскопічних матеріалів	Виявлені дефекти	Примітка викладача

## ПРАКТИЧНА РОБОТА № 3

### ОСНОВИ МЕТОДУ ТА ЗАСОБИ ВІЗУАЛЬНО-ОПТИЧНОГО НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ

**Мета заняття:** засвоєння теоретичних знань щодо особливостей візуально-оптичного методу неруйнівного контролю.

#### Загальні поняття, методика, матеріали

Візуально-оптичний метод неруйнівний контроль (ОНК) заснований на аналізі взаємодії оптичного випромінювання (ОВ) з об'єктом контролю (ОК). Оптичне випромінювання або світло - електромагнітне випромінювання з довжиною хвилі  $10^{-3}$ - $10^3$  мкм, в якому прийнято виділяти ультрафіолетову (УФ), видиму та інфрачервону (ІЧ) області спектра з довжинами хвиль відповідно  $10^{-3}$ ... 0,38; 0,38 ... 0,78 і 0,78 ...  $10^3$  мкм.

Інформаційними параметрами ОВ є просторово-часові розподіли його амплітуди, частоти, фази, поляризації та ступені когерентності. Для отримання дефектоскопічної інформації використовують зміни цих параметрів при взаємодії ОВ з ОК відповідно до явищ інтерференції, дифракції, поляризації, заломлення, відбиття, поглинання, розсіювання, дисперсії світла, а також зміна характеристик самого ОК під дією світла в наслідок ефектів фотопровідності, фотохромізму, люмінесценції, електрооптичних, механооптичних (фотопружність), магнітооптичних, акустооптичних та інших явищ.

За допомогою оптичних методів внутрішні дефекти виявляються тільки у виробках з матеріалів, прозорих в оптичній області спектра. Области застосування візуально-оптичного методу неруйнівного контролю наведені у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 Области застосування

<b>Область застосування</b>	<b>Вид контролю</b>
Авіа- та ракетобудування	Контроль геометрії і поверхні, візуально-оптичний перед застосуванням інших методів НК , візуальна ендоскопія двигунів
Металургія	Контроль геометрії прокату (дроту, листів, труб, прутків, профілів), якості внутрішньої поверхні труб
Хімічна промисловість	Спектральний аналіз, контроль структури пластмас і полімерів, колориметричний контроль розчинів
Скляне виробництво	Контроль геометрії скляних листів та труб, виявлення чужорідних включень, визначення напруг і фотометричних характеристик
Виробництво тканин	Контроль кольоровості матеріалу, діаметра ниток, структури тканини, люмінесцентний контроль наявності жирових ділянок
Електронна промисловість	Контроль двузаломлення та інших характеристик напівпровідникових матеріалів, контроль геометрії напівпровідникових структур (еліпсометрія)
Радіопромисловість	Контроль якості друкованих плат на телевізійних та оптичних проекторах, контроль геометрії фотошаблонів та ін.
Електровакуумна промисловість	Контроль напруг в корпусах кінескопів, фотометричних характеристик люмінофорів і джерел світла, геометрії елементів вакуумних приладів і т. д.
Виробництво фотоматеріалів	Контроль однорідності фотоемульсії в ІЧ-променях і товщини основи, спектрометрія, сенситометрія, резольвометрія.
Нафтохімічна промисловість	Виявлення місць витоку газу та нафти, аналіз складу нафти.




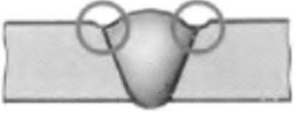

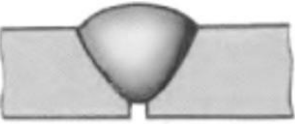

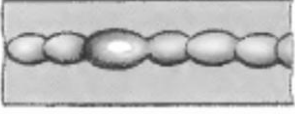

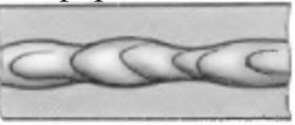
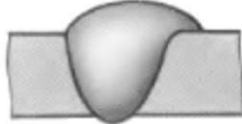


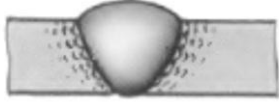
При роботі з приборами візуального контролю (мікроскопи, проектори, ендоскопи, телескопи, телевізійні системи тощо) важливо правильно використовувати свойства зору оператора. Зір (видіння) є складним динамічним нелінійним процесом, що включає скануючі, конвергенційні (фокусировочні) і адаптаційні зміни (діаметра зіниці) руху очей і обробку зорової інформації в центральній нервовій системі людини.

Роздільна здатність зору, тобто здатність розрізняти дрібні деталі зображення, залежить від яскравості, контрасту, кольоровості і часу спостереження ОК. Вона максимальна в білому або жовто-зеленому світлі при яскравості  $10 \dots 100 \text{ кд/м}^2$ , високому контрасті об'єкта ( $|r| > 0,5$ ) і часу спостереження  $5 \dots 20 \text{ с}$ . Кутова роздільна здатність ока (мінімальний кут між деталями зображення, які він розрізняє) дорівнює  $1^\circ$  при відстані до об'єкта  $l = 250 \text{ мм}$  і дотриманні указаних вище умов.

В основі методів кількісної оцінки кольору лежить гіпотеза про наявність в оці трьох типів рецепторів, що мають різну спектральну чутливість. Для перевірки колірного зору випускають спеціальні атласи кольорів, що складаються з наборів пластинок різного кольору з відомими координатами кольору. Поле зору ока становить приблизно  $125 \times 150^\circ$  ( $180^\circ$  по горизонту для обох очей). При цьому зона чіткого бачення складає близько  $2^\circ$ , час інерції зору – близько  $0,1 \text{ с}$ .

До числа дефектів, що виявляються неруйнівними оптичними методами, відносяться (Табл.3.2) порожнечі (порушення суцільності), розшарування, пори, тріщини, включення сторонніх тіл, внутрішні напруги, зміна структури матеріалів та їх фізико-хімічних властивостей, відхилення від заданої геометричної форми і т. д.

Таблиця 3.2 Основні види дефектів зварних швів та причини їх появи

Дефекти зварних швів			
Найменування	Причина	Найменування	Причина
<p>Кратери</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- обрив дуги;</li> <li>- не правильне виконання кінцевої ділянки шву</li> </ul>	<p>Підрізи</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- велика довжина дуги;</li> <li>- великий зварювальний струм;</li> </ul>
<p>Пори</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- швидке охолодження шва;</li> <li>- забруднення кромки;</li> <li>- висока швидкість зварювання;</li> <li>- вологі електроди та флюс</li> </ul>	<p>Непровар</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- малий кут скосу кромки;</li> <li>- малий зазор між кромками;</li> <li>- забруднення кромки;</li> <li>- замалий струм;</li> <li>- велика швидкість зварювання</li> </ul>
<p>Шлакові включення</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- забруднення кромки;</li> <li>- малий зварювальний струм;</li> <li>- велика швидкість зварювання</li> </ul>	<p>Прожег</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- великий струм при малій швидкості зварювання;</li> <li>- великий зазор між кромками;</li> </ul>
<p>Несплавлення</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- забруднення кромки;</li> <li>- велика довжина дуги;</li> <li>- малий зварювальний струм;</li> <li>- велика швидкість зварювання</li> </ul>	<p>Нерівномірна форма шва</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- не стабільний режим зварювання;</li> <li>- не точний напрямку руху електроду;</li> </ul>
<p>Наплив</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- завеликий зварювальний струм;</li> <li>- велика довжина дуги;</li> <li>- неправильний нахил електроду</li> </ul>	<p>Тріщини</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- високі напруження в жорстко закріпленій конструкції;</li> <li>- високий вміст сірки та фосфору;</li> </ul>
<p>Свищ</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- низька пластичність металу;</li> <li>- поява закалочних структур;</li> <li>- напруження від нерівномірного нагріву</li> </ul>	<p>Перегрів металу</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- невірний вибір теплової потужності;</li> <li>- завищені значення погонної енергії дуги;</li> </ul>

## **Приклад: контроль якості зварних швів зовнішнім оглядом**

**Технологія візуального контролю.** Перед зовнішнім оглядом зварені шви і прилягаючий до шва основний метал на ширині до 20 мм із кожної сторони очищається від шлаку, окалини та інших забруднень. По зовнішньому вигляду шва можна зрозуміти причину виникнення тих чи інших дефектів.

Так, при малому струмі шов виходить занадто високий, із закругленими краями і неглибоким проваром. Завищений струм веде до нерівностей країв шва і появи підрізів. При зварюванні довгою дугою відбувається інтенсивне розбризкування металу і шов неоднаковий за шириною. Нерівномірність, чещуйчатість (лускатість), ширина і висота шва вказують на порушення режиму зварювання і чисельні обриви дуги. У цих випадках можливі непровари і пори.

Особливо ретельно оглядають не заварені кратери, тому що в них найбільш часто утворюються тріщини і газові пори. При виявленні тріщин їх границі виявляють шліфуванням дефектного міста наждаковим папером і травленням 20% розчином азотної кислоти, а в окремих випадках засвердлюванням чи підрублюванням зубилом. Дрібні тріщини виявляють при нагріванні звареного з'єднання до вишнево-червоного кольору, коли вони яскраво виділяються на світлому тлі нагрітого металу.

Виявлені тріщини обробляють до основного металу, після чого їх заварюють і проводять повторний контроль шва.

Результати зовнішнього огляду дозволяють приблизно ідентифікувати місця розташування внутрішніх дефектів та їх характер.

Так, наприклад, підріз на одній зі сторін шва і наплив на іншій указують на можливий непровар по його кромці; непостійна ширина шва часто є наслідком нерівномірної ширини зазору між кромками, що зварюються.

Якість зварного з'єднання значною мірою характеризується розмірами зварних швів. Недостатній перетин шва зменшує його міцність, завищений - збільшує внутрішні напруження і деформації в ньому.

Для перевірки розмірів перетину в стикових швах заміряють їхню ширину, висоту нашарування і розмір зворотної подварки; у кутових швах, з'єднаннях в напустку і в тавр - катет шва. Значення цих величин, а також відхилення, що допускаються, встановлені технічними умовами чи стандартами відповідної галузі.

## **Рекомендована література**

1. Лабораторний практикум з дисципліни «Оптичний, тепловий та радіохвильовий контроль». — Івано-Франківськ: ІФДТУНГ, 1997.

2. Методичні вказівки для виконання курсового проекту з дисципліни «Оптичний, тепловий та радіохвильовий контроль». — Івано-Франківськ: ІФДТУНГ, 1997.

3. Справочник по оборудованию для дефектоскопии сварных швов, Троицкий В.А., Боровиков А.С., Радько В.П. и др. - К.: Техника, 1987. -126с.

4. Краткое пособие по контролю качества сварных соединений. Издание второе. Гл. Ред. Троицкий В.А., К., 1997. - 224 с.

## КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Назвіть основні області використання візуально-оптичного контролю.
2. Дайте характеристику та опишіть види дефектів зварних швів та причини їх виникнення.

## ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ:

1. Засвоїти теоретичний матеріал.
2. Відповісти на контрольні запитання.
3. Оформити короткий реферат з відповідями на контрольні запитання та відповідним кресленням або зображенням.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3 ВІЗУАЛЬНО-ОПТИЧНИЙ НЕРУЙНІВНИЙ КОНТРОЛЬ ДЕТАЛЕЙ АВІАЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙ

**Мета заняття:** вивчення особливостей візуально-оптичного методу неруйнівного контролю.

**Завдання :** Одержати навички визначення якості зварювання зовнішнім оглядом:

- а) дефекти підготовки і зборки деталей під зварювання - неправильний кут скосу кромки, непостійний зазор, розбіжність кромки, що стикаються;
- б) дефекти форми швів - непостійні розміри (ширини і висоти), місцеві бугри та сідловини, хвилястість;
- с) зовнішні і внутрішні макродефекти - подрізи, напливи, пропали, газові пори, неметалеві включення та ін.

### **Фізичні основи методу.**

Оптичний метод НК заснований на аналізі параметрів оптичного випромінювання внаслідок взаємодії з контрольованим об'єктом.

Принцип дії і основний результат - огляд за допомогою оптичних засобів поверхонь об'єкта контролю на наявність дефектів та аномалій; здійснюється незалежно і в поєднанні з іншими методами контролю. Кожне обстеження з метою виявлення стану об'єкту обов'язково починається саме з візуального контролю.

Зондує середовище або джерело енергії - видима область спектру (довгохвильова ультрафіолетова область спектру у випадку флуоресценції матеріалу).

Характер сигналу або інформаційні характеристики - відбите, розсіяне і індуковане випромінювання.

Спосіб детектування - оптичні засоби, збільшувальне скло, бороскопи, відео- та плівкові фотокамери.

Спосіб індикації або реєстрації - візуальне зображення.

Метод розшифровки - аналіз зображення; використовується в поєднанні з іншими методами для безпосередньої розшифровки (капілярний, магнітопорошковий).

#### **Цілі використання.**

Виявлення дефектів типу порушення суцільності - тріщини, раковини, пори і включення.

Вимірювання розмірів та метрологія - вимірювання механічними засобами.

Визначення фізико-механічних властивостей - шорсткість, зерно і плівка.

Визначення компонентного і хімічного складу.

Визначення динамічних характеристик - видимі реакції напруженості шару.

#### **Опис обладнання та матеріалів**

1. Матеріали для очищення поверхні ОЖ-1А, ОЖ-1
2. Лупа
3. Лінійка
4. Універсальний шаблон
5. Зразки зварних з'єднань з дефектами
6. Ендоскоп – прибор з камерою для виявлення внутрішніх дефектів
7. Комп'ютер для зв'язку з ендоскопом з метою визначення наявності та оцінки геометрії внутрішніх дефектів



Рис.3.1 Ендоскоп

### Порядок ведення роботи

Роботу проводити в наступній послідовності:

- 1 Очистити поверхню зварного шва.
- 2 Ретельно оглянути шов та оцінити спосіб зварювання.
- 3 Визначити усі наявні поверхневі дефекти, розглянути їх через лупу, замірити їх величину.
- 4 Замалювати зовнішній вигляд шва, указати його довжину, відзначити на ньому виявленні дефекти.
- 5 Результати контролю занести в таблицю

### Інформація для самостійної підготовки

Зовнішній огляд і виміри зварних швів є першими контрольними операціями по прийманню готового зварного виробу чи вузла. Цьому способу контролю підлягають деталі, на етапі збирання їх під зварювання і готові вузли після зварювання. Цим способом виявляють групи дефектів.

Дефекти зварювання призводять до зниження площі перетину шва, або до появи концентраторів напруги, тим самим зменшують міцність зварних з'єднань і приводять до руйнування зварних виробів.

Зовнішні дефекти небезпечні, оскільки вони зменшують працездатність швів, але їх порівняно легко знайти.

Зовнішнім оглядом неозброєним оком чи за допомогою лупи виявляються, насамперед, дефекти швів у вигляд тріщин, підрізів, пор, свищів, пропалів, напливів і непроварів наприкінці шва.

Усі перераховані дефекти неприпустимі і підлягають вирубці і повторному зварюванню. Неприпустимість цих дефектів визначена технічними умовами на виготовлення зварних виробів. При огляді можна виявити також дефекти форми шва і якість розподілу металу у зварному шві. Добре виконаний шов має плавний перехід до основного металу, без напливів і підрізів, рівномірну ширину і висоту по довжині шва.

Зовнішній огляд дозволяє встановити не тільки зовнішні дефекти, але і деякі внутрішні.

Внутрішні - приховані дефекти швів становлять найбільшу небезпеку. Так, наприклад, нерівномірність складок (лусочок), різна ширина і висота шва вказують на часті обриви дуги і зміну її потужності, що зазвичай призводить до появи непроварів та нещільності шва.

#### **Області використання оптичного методу:**

Контрольовані матеріали - необмежене коло матеріалів: механічно оброблені деталі, внутрішні поверхні об'єктів контролю, елементи виробів, вузли та системи.

Об'єкти контролю і технологічні операції - поверхні, шари, плівки, покриття, контроль і регулювання у виробничій лінії і поза нею.

Діагностика - всі види технологічних операцій і випробувань.

#### **Обмеження візуального методу:**

За технологічності - візуальний доступ. Зазвичай потрібні спеціальні оптичні засоби.

По розшифровці - потрібне додаткове застосування інших методів контролю для оцінки і вимірювання дефектів.

За чутливістю – залежність від умов спостереження.

Споріднені методи контролю - бороскопія, рефрактометрія, дифрактометрія, інтерферометрія, рефлектометр, мікроскоп, телескоп, радіометрія у видимій області спектра.

#### **Оформлення результатів виконання роботи:**

1. Описати етапи проведення контролю.
2. Заповнити Журнал проведення контролю капілярним методом (форма додається).
3. Зробити і записати висновки.

## ФОРМА ЖУРНАЛА ПРОВЕДЕННЯ КОНТРОЛЮ

Дата проведення контролю	Номер об'єкту контролю	Матеріал зразка, Визначення зони контролю	Набір дефектоскопічних матеріалів та приладів	Виявлені дефекти  Вид дефекту	Примітка викладача



## **ПРАКТИЧНА РОБОТА №4**

### **НЕРУЙНІВНІ МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ВИРОБІВ З КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ.**

**Мета заняття:** засвоєння теоретичних знань щодо особливостей неруйнівного контролю композиційних матеріалів.

#### **Теоретичні відомості**

Контроль композиційних матеріалів (КМ) особливо важливий з огляду на те, що їх властивості суттєво змінюються залежно від структури матеріалу, взаємного розташування шарів, процесу його виготовлення тощо. Комплекс методів контролю необхідний не лише для контролю, а і для створення найбільш перспективних процесів їх виготовлення, отримання належної інформації для проведення конструкційних робіт. Методи контролю підрозділяються на неруйнівні (МНК) і руйнівні.

Метою методів неруйнівного контролю є визначення і вимір відхилень від норми властивостей матеріалу, виявлення його прихованих дефектів без руйнування зразка або виробу в цілому. Придатність зразка залежить від інженерної оцінки і від кореляції між визначеними фактами, що можуть класифікуватися як дефект і величинами параметрів, що аналізуються.

З огляду на те, що властивості більшості композитів суттєво залежать від способу їх отримання та режиму термообробки в процесі виготовлення, дослідження часто проводять на зразках-свідках, вирізаних із спеціально призначеної для цієї мети частин виробу.

1. Візуальні методи неруйнівного контролю. Напевно, цей метод один з найбільш простих з технічної точки зору, але чутливість може бути співставна з найбільш досконалими методами контролю. Дефекти, що можуть бути виявлені ним досить різноманітні: піттинг, повітряні бульбашки, пори, натікання з'єднуючого, непросочені ділянки, порожнечі і розшарування, сторонні включення, тріщини і подряпини, різна відтінковість (внаслідок перегріву). Може контроль вестись неозброєним оком і з використанням приладів: луп, мікроскопів. Відбите світло використовується для визначення поверхневих дефектів. Наскрізне світло (якщо матеріал прозорий) дозволяє виявляти підповерхневі і внутрішні дефекти. Контроль має вестись в спеціально підготовлених приміщеннях. Ефективність виявлення суттєво залежить від кваліфікації контролера і суб'єктивних факторів.

2. Ультразвуковий метод контролю. До них відносять акустичні методи, що використовують частоти вище 20 КГц, найчастіше в діапазоні 100 КГц – 25 МГц. Методика ультразвукового контролю ґрунтується на властивості

ультразвукових коливань (УЗК), розповсюджуватись в матеріалі на значні відстані і відбиватись від границі розділу двох середовищ (наприклад, тріщин з розкриттям 0,01 мм і більше). Для збудження коливань і прийому їх найчастіше використовують п'єзоперетворювачі (Рис.4.1.). УЗК генеруються п'єзоелектричним перетворювачем, що встановлюється на контрольованій поверхні і вводяться через шар акустичної рідини в контрольований виріб



Рис.4.1 Принцип проведення контролю і вимірювань за допомогою ультразвукового імпульсного методу.

Переміщуючи датчик-п'єзoeлемент уздовж деталі, оператор визначає місце дефекту по максимуму сигналу.

За інтенсивністю і часом приходу відбитих хвиль на п'єзоперетворювач можна робити висновок про наявність, розміри, місцезнаходження, а інколи і про характер дефекту. Ультразвуковий промінь може вводиться за нормаллю або під різними кутами до поверхні виробу, що дає змогу збуджувати в ньому хвилі різних типів (нормальні, поздовжні, поперечно-поздовжні тощо). Чутливість методу з використанням сучасної апаратури на частотах  $1,2 \div 5$  МГц забезпечує виявлення дефектів від 1 мм і більше. В обмежених твердих тілах можуть бути хвилі різних типів. Уздовж вільної поверхні твердого тіла можуть розповсюджуватися поверхневі хвилі, або хвилі Релея. Вони затухають на глибині, яка приблизно дорівнює довжині хвилі. В результаті хвильового ефекту в пластинах і стержнях виникають нормальні хвилі – хвилі Лемба і стержневі хвилі – хвилі Похгаммера. Швидкість розповсюдження хвиль

залежить від пружних характеристик твердих тіл. Вони характеризуються двома незалежними пружними константами: модулем Юга  $E$  і модулем зсуву  $G$ .

Послаблення амплітуди в середовищі визначається затуханням. Це послаблення визначається законом:

$$A = A_0 e^{-\delta x}$$

де  $\delta$  – коефіцієнт затухання;  $x$  – відстань від джерела хвилі.

Коефіцієнт затухання складається із коефіцієнтів поглинання і розсіювання:

$$\delta = \alpha_n + \alpha_r$$

При поглинанні звукова енергія переходить в теплову, а при розсіюванні залишається звуковою, але уходить із хвилі, що направлено розповсюджується внаслідок відбиття від неоднорідного середовища. Акустичні методи умовно поділяють на дві групи: активні, що використовують випромінювання і прийом акустичних хвиль і пасивні, що ґрунтується лише на прийомі хвиль. Активні методи діляться на дві підгрупи: ті, що використовують проходження хвиль і тих, що відбивають хвилі. До методів проходження відносяться наступні:

- тіньовий;
- часовий тіньовий;
- дзеркально-тіньовий;
- велосиметричний.

Тіньовий метод ґрунтується на зменшенні амплітуди хвилі, що пройшла внаслідок дії дефекту.

Часовий тіньовий полягає на запізненні імпульсу, що викликано огинанням дефекту. Дзеркально-тіньовий ґрунтується на послабленні сигналу, відбитого від протилежної поверхні виробу.

Велосиметричний метод полягає на зміні швидкості пружних хвиль за наявності дефекту.

Методи відбиття складаються з наступних:

- луна-метод;
- дзеркальний луна-метод;
- дельта-метод;

Луна-метод реєструє луно-сигнали від дефекту. Дзеркальний луна-метод полягає на дзеркальному відбитті імпульсів від дефектів орієнтованих вертикально до поверхні, з якої ведеться контроль. При дельта-методі розсіяні на дефекті хвилі від перетворювача А приймаються перетворювачем Б безпосередньо над дефектом.

Суттєво від інших методів відрізняється імпедансний метод. Він полягає на аналізі змін механічного імпедансу ділянки поверхні об'єкта, що підлягає контролю. Про зміну імпедансу судять за характеристиками коливань перетворювача: частоті, амплітуді, фазі. Вільні коливання в об'єкті частіше за все збуджуються механічним ударом, а вимушені – шляхом дії гармонійної сили, частота якої змінюється. Стан об'єкта (відсутність дефекту) аналізуються за власною частотою вільних коливань або за резонансами вимушених коливань.

3. Звукові методи контролю. Ці методи використовують чутливий до вуха людини діапазон частот від 10 Гц до 20 КГц. Цим методом можна визначати великі тріщини або розшарування. Чистий, дзвінкий звук характерний для добре зв'язаної, твердої структури. Глухий, швидко затухаючий звук є ознакою розшарування в КМ або наявності великих порожнеч в структурі матеріалу.

Шум (звук), що генерується в процесі досліджень і під час простого навантаження армованих пластиків є індикатором дефектів. Зміна інтенсивності і рівня звукових сигналів може привести до розвитку тріщини. Зрозуміло, що така методика вже не відноситься до МНК. Але, наприклад, при гідравлічних іспитах зміною навантаження до руйнівного можна отримати кореляцію між граничним навантаженням і рівнем шуму.

4. Радіографія. Радіаційна дефектоскопія об'єднує два методи: рентгеноскопії і гама-графічний метод. Ці методи засновані на отриманні на екрані або рентгенівській плівці зображення предмета, що просвічується рентгенівським або гама-випромінюванням. Вони ґрунтуються на здатності випромінювання проходити скрізь непрозорі предмети, в тому числі через метали і діяти на рентгенівську плівку і деякі хімічні елементи, завдяки чому останні флуоресцують. Дефекти, що зустрічаються в деталі і частіше за все мають характер пустот (пустоти, тріщини тощо) на плівці мають вигляд плям або смуг. Довжина хвилі випромінювання порядку  $10^{-10}$  м.

Промислову установку з комплексом методів контролю ілюструє Рис.4.2.



Рис. 4.2 Автоматизований комплекс для неруйнівного контролю якості великогабаритних виробів з полімерних композиційних матеріалів.

Гама-випромінювання утворюється в результаті внутрішньоатомного розпаду радіоактивних речовин. Джерелом гама-випромінювання можуть бути наступні радіоактивні речовини: тулій-170, ірідій-192, цезій-137, кобальт-60. Товщина матеріалу, що може контролюватися цим методом складає до 600 мм. Для кожного матеріалу і джерела випромінювання існує гранична товщина просвічування і рекомендований режим просвічування. Чим більше товщина контролюваного об'єкта, тим жорсткіше випромінювання (з більшою енергією квантів) треба використовувати. На плівку гама-випромінювання діє аналогічно рентгенівському. Але чутливість гама-контролю дещо нижче рентгенівських знімків. Коли як джерело випромінювання використовується тулій-170 або ірідій-192 чутливість наближається до рентгеноскопії. Як і рентгенівське випромінювання воно дуже шкідливе для людини, тому ампули з радіоактивними речовинами розміщують в спеціальні гама-установки, що мають дистанційне керування.

5. Електричні випробування. Електрична міцність діелектрика. Електрична міцність діелектрика відтворює електричну міцність ізоляційних матеріалів за різних частот електроживлення (від 48 Гц до 62 Гц) або є мірою опору пробою діелектричного матеріалу під прикладеною напругою. Прикладена напруга безпосередньо перед пробоем ділиться на товщину зразка, щоб отримати результат в КВ/мм. Навколишнім середовищем може бути повітря або масло. Залежність від товщини може бути досить суттєвою, тому всі результати реєструються за конкретної товщини зразка.

Поверхневий питомий опір. За умови, що КМ перебуває під дією напруги, частина загального струму протікає вдалині від поверхні пластика, якщо є інший провідник або дріт заземлення, з'єднаний до цього виробу. Питомий поверхневий опір є мірою здатності опору цьому поверхневому струму. Він вимірюється як опір між змонтованими на поверхні зразка стандартними електродами одиничної ширини з одиничною відстанню між ними, між якими протікає постійний струм.

#### 6. Інфрачервоні (теплові) методи неруйнівного контролю.

Метод неруйнівного контролю для виявлення дефектів в структурі матеріалу використовує відмінності в поширенні теплових потоків. Матеріал спочатку піддають нагріву. Як при нагріванні, так і при охолоджуванні реєструється температура поверхні, для чого застосовують чутливу інфрачервону апаратуру (тепловізори). Тепловізори (Рис.4.3), що серійно випускаються, дозволяють вимірювати температуру з дуже високою точністю: їх похибка менше 0,1 °C.



Рис. 4.3 Тепловізор Flir TG267

Теплові методи контролю дозволяють проводити дистанційну технічну діагностику у процесі експлуатації об'єктів, що особливо актуально для неперервних виробничих процесів та потенційно небезпечних об'єктів.

ТНК – це метод неруйнівної діагностики, який базується на реєстрації теплових або температурних полів об'єкту контролю. Температура – кількісний показник внутрішньої енергії, є універсальною характеристикою процесів перетворення теплових полів. Будь-який об'єкт з температурою, яка



відрізняється від абсолютного нуля, є джерелом інфрачервоного випромінювання.

Температурне поле буде реєструватися тепловізором у вигляді термограм, які представляють собою видиме зображення температурних неоднорідностей.

Для прикладу, на наступному Рис. 4.4 зображені термограми зразків НЕ зроблені на тепловізорі FLIR GT 257 і оброблені на комп'ютері. Ці термограми ілюструють якість (рівномірність покриття, відсутність тріщин та ін.). Крім того було зафіксовано робочу температуру.

Це є прикладом виготовлення та дослідження електронагрівальних елементів для противообліднювальної системи літаків з використанням композитного матеріалу з вуглецевими нанотрубками. Це нова робота, метою якої була заміна металевого елемента нагрівальної протиобліднювальної системи на елемент з композитного матеріалу.

В роботі для ДП «АНТОНОВ» ми підбирали концентрацію наповнювача – вуглецевих наночастинок і контролювали процес виготовлення (оптимізація складу КМ та технології виготовлення).

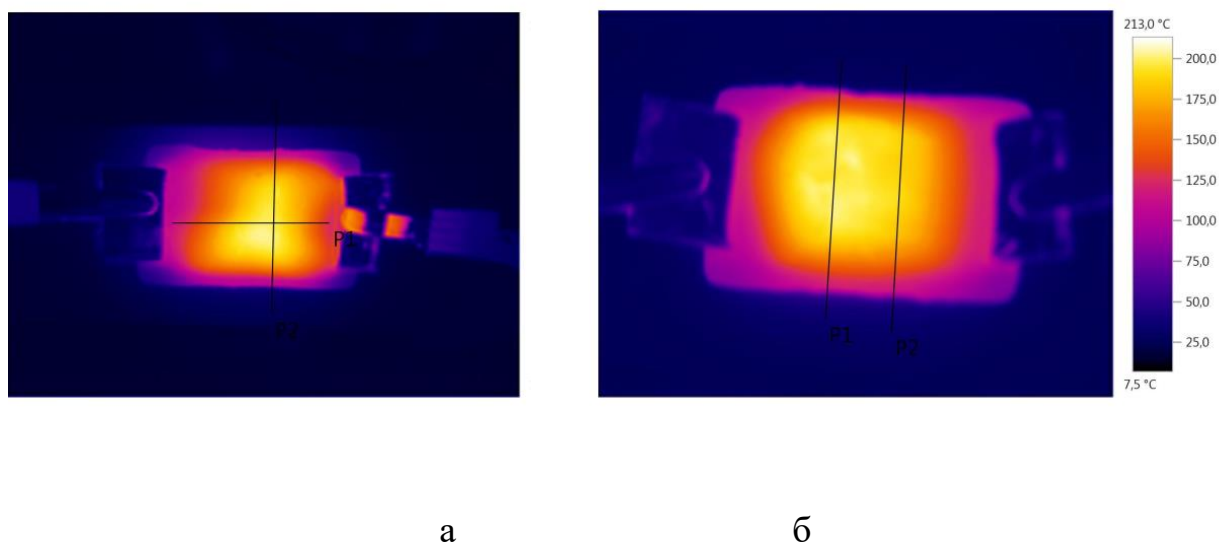


Рис.4.4 Термограми зразків з вмістом 4,0% (а) та 5,3% (б) вуглецевих нанотрубок в полімерній матриці, напруга 120В.

Зразки з вмістом 5,3% (б) вуглецевих нанотрубок в полімерній матриці показували кращі результати. Пластинки із вмістом нанотрубок 5,3% мали більш кращі нагрівальні характеристики з більш однорідним прогрівом.

Приклад графіку залежності температури від часу та кореляція зміни напруги (до 25 в) для нагрівання зразку з концентрацією вуглецевих нанотрубок 6,5% наведений далі (Рис.4.5).

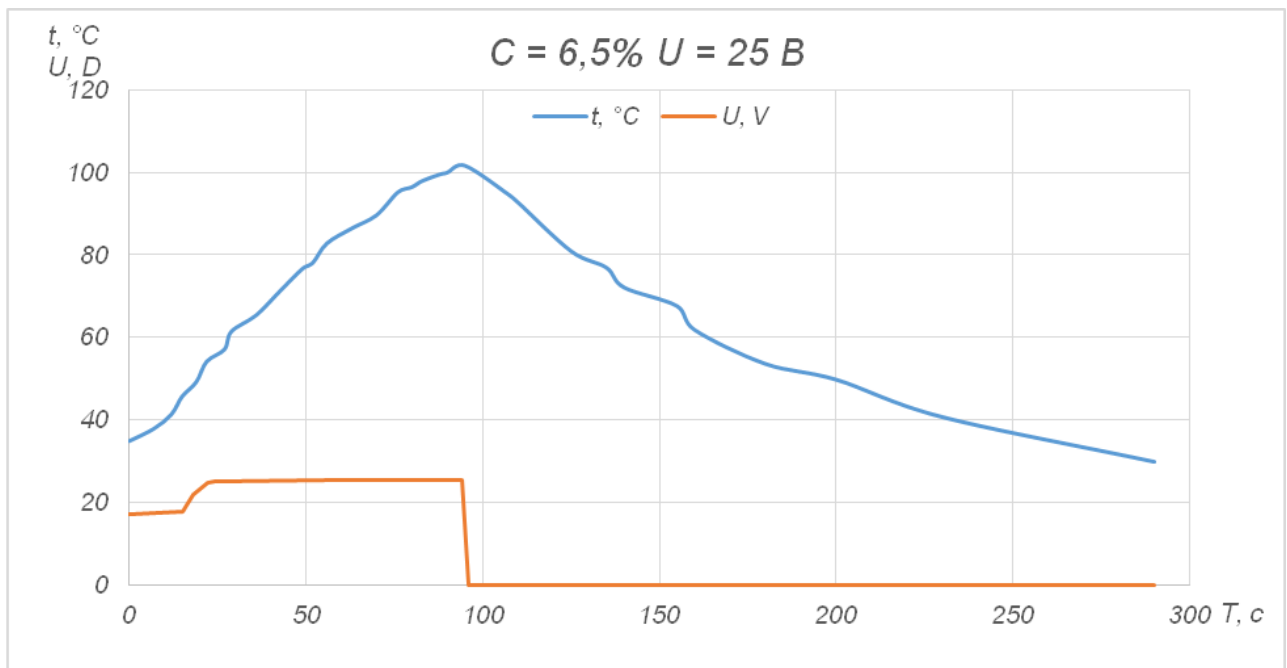


Рис.4.5 Теплові властивості

Якщо попередньому нагріву підданий армований пластик, то перенесення (розсіяння) тепла відбувається істотно швидше, якщо відсутні дефекти, зокрема не зв'язані ділянки. За наявності таких дефектів температура поверхні в їх районі вища. Прості точкові виміри, побудова температурних профілів і визначення температури поверхонь є найбільш поширеними термічними МНК.

Для контролю стільникових сендвічевих конструкцій часто застосовують метод «малярного пензля», що заснований на вимірі температури поверхні матеріалу. Після короткочасного нагріву температура поверхні вимірюється тепловізором. Температура поверхні може безперервно реєструватися. При цьому методі немає необхідності контакту приладу із зразком.

Тепловий метод контролю використовується для перевірки герметичності стільникових конструкцій. Для цього сотову панель нагрівають і за допомогою теплової зору контролюють наявність не проклеїв. Такі дефекти приводять до накопичення вологи, а потім льоду в просторах дефектів конструкції. В результаті відбувається відрив обшивок композитних панелей та руйнування елементів управління літаком.

Інший тепловий МНК заснований на використанні високої чутливості рідинних кристалів до температури. Особливо чутливі до температури структури, що містять холестеричні рідинні кристали. Рідиннокристалічне



покриття (накладена на зразок плівка) нагрівається одночасно і рівномірно разом із зразком. Дефекти можуть бути виявлені за зміною кольору покриття, оскільки поблизу дефекту колір поверхні (покриття) зміниться через вищу або нижчу температуру країни дефекту. Оскільки метод заснований не на рівноважному нагріві, а на теплових потоках, він може бути застосований як при нагріванні, так і при охолодженні зразка. Області, що містять дефекти, або сусідні з ними забарвлені зазвичай в «тепліші» кольори, оскільки ці області гірше передають теплоту. Простота у використанні і низька вартість методу робить МНК на основі рідиннокристалічних покриттів досить привабливим. Необхідно відмітити, що інфрачервоні МНК не можуть визначати ділянки з низькими фізико-механічними властивостями. Ідентифікуються лише такі дефекти, як пори, бульбашки, несумісності і незв'язані (непроклеєні) ділянки. Дефекти, що лежать близько до поверхні зразків, визначаються легше. Чутливість методу падає із зростанням товщини досліджуваного матеріалу. Цей метод широко використовують в експериментальних дослідженнях, але не в промислових масштабах.

### КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. В чому особливості методів неруйнівного контролю виробів з КМ?
2. Виберіть на свій розсуд літак, розмістіть зображення та вкажіть які з деталей конструюють з композиційних матеріалів. Якими методами неруйнівного контролю Ви пропонуєте проводити неруйнівний контроль.

### ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ:

1. Засвоїти теоретичний матеріал.
2. Відповісти на контрольні запитання.
3. Оформити короткий реферат з відповідями на контрольні запитання та відповідним кресленням або зображенням.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

### ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ЗА ДОПОМОГОЮ ПІРОМЕТРА

**Мета роботи** – вивчення принципу роботи пірометра і дослідження динаміки нагріву і охолодження імітаторів гальм шасі.

**Обладнання і матеріали, що використовуються в роботі:** пірометр, електродвигун перемінного струму, металевий шків, важіль навантаження.

#### Теоретичні відомості

Найбільш часто вимірюється температура в діапазоні температур від  $-80^{\circ}\text{C}$  до  $3000^{\circ}\text{C}$ . Електричні методи вимірювань можна поділити на контактні і безконтактні. При контактних методах мусить бути ПП, що безпосередньо в процесі вимірювання знаходиться в тепловому контакті з середовищем. Безконтактний метод полягає на властивості тіл випромінювати теплову енергію, яка пропорційна температурі. В більшості випадків безконтактні методи використовуються при великих температурах.

Вибір того чи іншого методу визначається цілим рядом чинників: відстанню до об'єкта вимірювання, агресивністю середовища, необхідною точністю, діапазоном температур тощо.

Найбільш простими за конструкцією є термометри розширення, які за принципом дії поділяються на газові термометри, рідинні термометри і біметалеві.

Найбільш поширеними і затребуваними стали безконтактні оптичні термометри і найбільш просунуті і все частіше популярні - тепловізори для енергоаудиту.

Останні дуже дорогі і мають вузьку сферу застосування, відносяться до стаціонарних, оскільки призначені для віддаленої термодіагностики температурних режимів в межах  $200^{\circ}\text{C}$ - $300^{\circ}\text{C}$  і більше градусів та енергоаудиту, а портативний пірометр, сучасні різновиди якого відрізняються широким функціоналом, швидкістю і достовірності результату, став надзвичайно популярний.

Пірометр - це прилад віддаленого безконтактного аналізу температури методом перетворення теплового потоку об'єкта в температурні значення, що виводяться на дисплей.

Основний тип приладів для вимірювання температури - переносні, з меншою точністю обчислень, ніж у стаціонарних, але відрізняються від них доступністю і простотою управління. Сфера їх застосування дуже різноманітна. Від використання при дрібному побутовому ремонті до наукових досліджень. У будинках, офісних, виробничих будівлях використовують при діагностиці і ремонті систем опалення, електричних систем, при складанні температурної

карти приміщення. Дуже популярні в службах комунального господарства і є незамінними в промисловості

Будь-яке нагріте тіло, внаслідок збудження молекул і атомів, починає інтенсивно випромінювати електромагнітні хвилі, які називають інфрачервоним випромінюванням і термометр дозволяє приймати ці хвилі, аналізувати їх інтенсивність, роблячи висновки про температуру тіла.

Типову принципову схему можна представити таким чином (рис. 4.6):

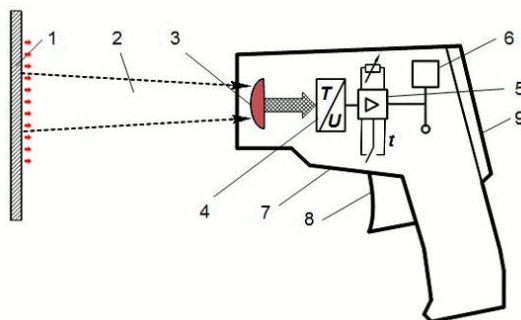


Рис. 4.6. Принцип вимірювання: 1- досліджувана поверхня; 2 - тепловий потік; 3 - "приймач" - оптична система; 4 - датчик перетворювач сигналу; 5 - перетворювач електронний; 6 – лічильник; 7 – корпус; 8 - "курор"; 9 - екран

Приймач вловлює теплові хвилі, які випромінює об'єктом, що за допомогою оптики передаються на перетворювачі. Аналогове значення перетворюється в електричне, сигнал проходить через лічильник і далі як готовий результат виводиться на екран. Це спрощена принципова схема, з її допомогою можна зрозуміти базові принципи роботи і структуру пристрою.

Крім інфрачервоних, зустрічаються оптичні, з яких почалася історія цього класу пристроїв. В оптичних значення температури визначається за візуальним спостережування кольору нитки розжарення.

Розглянемо функції і роботу на прикладі одного з варіантів пірометрів (рис. 4.7). Вимірювання температури відбувається в діапазоні від  $-50^{\circ}\text{C}$  до  $550^{\circ}\text{C}$ , один з основних показників - оптичне дозвіл 12: 1, фіксована радіаційна здатність з коефіцієнтом 0.95. В конструкції є лазерна указка мети, підсвічування екрану, запам'ятовування результатів вимірювань.

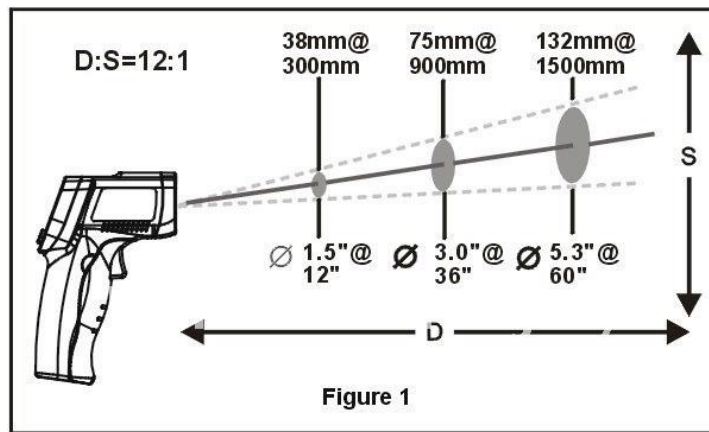


Рис. 4.7. Схема застосування пірометра

З наведених даних зрозуміло, що температура вимірювання може бути як висока, так і низька, навіть негативна. Значення діапазону залежать від довжини хвиль, на яких працює прилад.

Наступний параметр називається оптичним дозвілом. Він визначається як відношення відстані до об'єкта до діаметру зони вимірювання (світлової плями). У цього вимірювача температури воно дорівнює 12: 1. Чим більше відстань до об'єкта, тим більше діаметр зони виміру. Так, згідно з інструкцією, на відстані 1.5 м діаметр світлової плями буде дорівнювати 13.2 см. Слід врахувати, що зазначене співвідношення буде вірним лише для однієї ділянки умовного "променя" вимірювання, там, де він має найменший діаметр, тому що "промінь" не має строго конічної форми, звужується у напрямку до приймача. Як бачимо по діаграмі, найменший діаметр променя знаходиться на відстані 900 мм від об'єкта. Ця зона називається фокусна відстань.

Допомагає "прицілитися" лазерна указка. Тут вона виконує допоміжну функцію, на відміну від основної в лазерному далекомірі. При роботі важливо стежити за тим, щоб коло зони вимірювання не виходило за межі досліджуваного об'єкта (рис. 4.8):

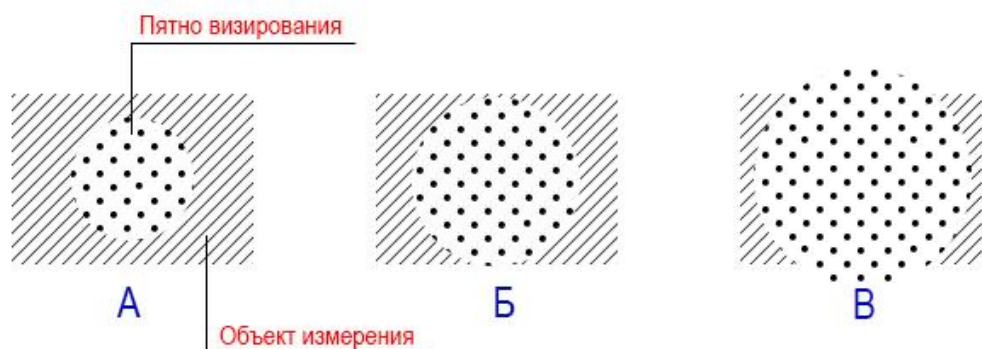


Рис. 4.8. Позицювання кола вимірювання: А - вірне візування; Б - граничне, можуть бути похибки; В - неправильне візування, точність вимірювань може істотно змінитися.

Ще один параметр, - випромінювальна здатність (ВЗ). Вона зафіксована, її коефіцієнт дорівнює 0.95, чого цілком вистачає для більшості завдань, а ось у більш складних (і дорогих) зразків показник емісії "плаваючий", може бути змінений вручну або автоматично при скануванні специфічних матеріалів.

Можуть бути додаткові опції. Підсвічування дисплея дозволить проводити виміри в умовах поганої освітленості, що нерідко трапляється при зовнішніх роботах, або в темний час доби. А запам'ятовування результатів обчислень зручно при роботі з різними вимірюваними значеннями. При перевищенні діапазону температур обчислення все одно ведеться, але їх точність знижується, про що сигналізує відповідна індикація екрану.

### **Опис лабораторної установки**

Установка виконана у вигляді конструктива, що містить у своєму складі електродвигун, на вісь якого надіто металевий шків. Біля шківів на шарнірі закріплено вантажний важіль, який має можливість притискатися до шківів. В зоні тертя на важіль закріплено шкіряний елемент. Переміщення важеля здійснюється вручну до моменту забезпечення надійного контакту з поверхнею шківів. Біля шківів стаціонарно закріплено пірометр. В процесі контакту зони тертя важеля з шківом, поверхня останнього прогрівається рівномірно, тому місце установки пірометра може бути довільним, але має бути витримано оптичний дозвіл. Вмикання пірометра до живлення відбувається одночасно з підключенням до живлення всієї установки. Вимірювання безпосередньо температури здійснюється натиском на курок, результати вимірювання зчитуються на екрані прилада. Схема лабораторної установки наведено на рисунку 4.9. Сила притиску визначається довільно, але без суттєвого зменшення частоти обертання двигуна, що може викликати злам.



Рис. 4.9 Схема лабораторної установки

### **Порядок ведення роботи**

Роботу проводити в наступній послідовності:

1. Перевірити правильність з'єднання схеми і ввімкнути живлення.
2. Натиснути на «курок» пірометра і зафіксувати температуру. Відхилити важіль до контакту з шківом, що обертається. Притиснути незначною силою.
3. Зробити 5 замірів температури з інтервалом 30 секунд. Результати замірів занести в протокол іспитів.
4. Відвести важіль від шківа. Не припиняти обертання шківа. Зробити 5 замірів температури з інтервалом 30 секунд.
5. На одному графіку в координатах час (сек) – температура (град С) побудувати графік нагріву шківа і графік цього охолодження.
6. Зробити аналіз характеру зміни температури при нагріванні і охолодженні.

### **Контрольні запитання**

1. Опишіть принцип дії пірометра.

2. Наведіть основні технічні характеристики і їх орієнтовні значення для пірометра загального застосування.
3. В чому перевага контактних і безконтактних методів вимірювання?
4. Який діапазон температур піддається вимірюванням пірометром? На якій відстані?

### Література

1. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. Под ред. В.В. Ключева. М.: Машиностроение, 1986. – 488 с.
2. Вавилов В.П. Тепловые методы неразрушающего контроля. М.: Радио и связь, 1984. – 200 с.

### Протокол іспитів

№ дослідження	t, сек	T, град С

## ПРАКТИЧНА РОБОТА № 5

### ОСНОВИ ВИХРОСТРУМОВОГО МЕТОДУ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ

**Мета заняття:** засвоєння теоретичних та практичних знань щодо особливостей вихрострумowego методу контролю авіаційних конструкцій.

**Завдання :** Виявити дефекти, опробувати метод з різними типами дефектів, на різних електропровідних матеріалах конструкцій та конфігурації поверхні.

**Область застосування вихрострумowego методу контролю авіаційних конструкцій:**

- виявлення дефектів в зоні заклепок багатошарових авіаційних конструкцій,
- виявлення поверхневих дефектів вузлів авіаційної техніки в умовах експлуатації,
- вихрострумовой контроль зварних з'єднань,
- вихрострумова дефектоскопія деталей авіаційних двигунів в умовах експлуатації і ремонту.

**Область застосування загалом в промисловості :**

неруйнівний контроль лопаток парових турбін, теплові канавки, поверхня осевого каналу роторів турбін і т.д., зварні з'єднання і вигини трубопроводів, корпусне обладнання, нарізні сполучення, деталі будь-якої форми і розмірів промислового і транспортного устаткування;

толщинометрія вимірювання товщини тонких труб і тонкого листового прокату, визначення корозійних пошкоджень, товщини захисних покриттів;

вимір глибини поверхневих тріщин в електропровідних магнітних і немагнітних матеріалах.

**Фізичні основи вихретокового методу неруйнівного контролю:**  
Вихрострумів методи засновані на аналізі взаємодії зовнішнього електромагнітного поля з електромагнітним полем вихрових струмів, що наводяться збудливою котушкою в електропровідному об'єкті контролю.

Закон електромагнітної індукції (М. Фарадей):

у всякому замкнутому проведеному контурі з числом витків  $W$  при зміні потоку  $\Phi$  магнітної індукції  $B$  через площу  $S$ , обмежену цим контуром, виникає ЕДС індукції.

$$e = -w \, d\Phi/dt \quad (\text{правило Ленца}).$$



ЕДС зменшується при зростанні потоку  $\Phi$ .

ЕДС збільшується при зменшенні  $\Phi$ .

При контролі методами вихрових струмів використовують залежність амплітуди, фази, перехідних ознак і спектру частот струмів, що збуджуються в об'єкті контролю, від його форми та розмірів, фізико-механічних властивостей та суцільності матеріалу, відстані до перетворювача, частоти та швидкості переміщення, в тому числі і вібрації.

Збудником вихрового струму може бути поле рухомого магніту, змінне поле струму в провіднику, але самим розповсюдженим перетворювачем є котушка індуктивності намотана на феритове осердя із змінним струмом чи комбінація декількох котушок. *самим розповсюдженим перетворювачем є котушка індуктивності намотана на феритове осердя із змінним струмом*

Вперше вихрові струми були виявлені французьким ученим **Франсуа-Жан-Домініком Араго** (1786-1853) в 1824 р. в мідному диску, розташованому на осі під магнітною стрілкою. За рахунок вихрових струмів диск приходив в обертання.

### **Недоліки вихрострумового методу контролю:**

можливе спотворення одного параметра іншими, при організації багатокоординатного контролю;

контроль тільки електропровідних виробів;

відносно не висока глибина контролю.

**Задача контролю** полягає в тому, щоб при русі перетворювача відносно об'єкта контролю по сигналам елементів зробити висновок про місцеположення дефекту в об'ємі виробу (Рис.5.1), його характер і розміри. Об'єм дефекту визначається, перш за все, амплітудою сигналу. Сигнал конкретного елемента перетворювача залежить від його розташування відносно дефекту. Випадок, коли дефект розміщується безпосередньо під одним з елементів - найпростіший. Про об'єм дефекту можна судити прямо по амплітуді сигналу від даного елемента.

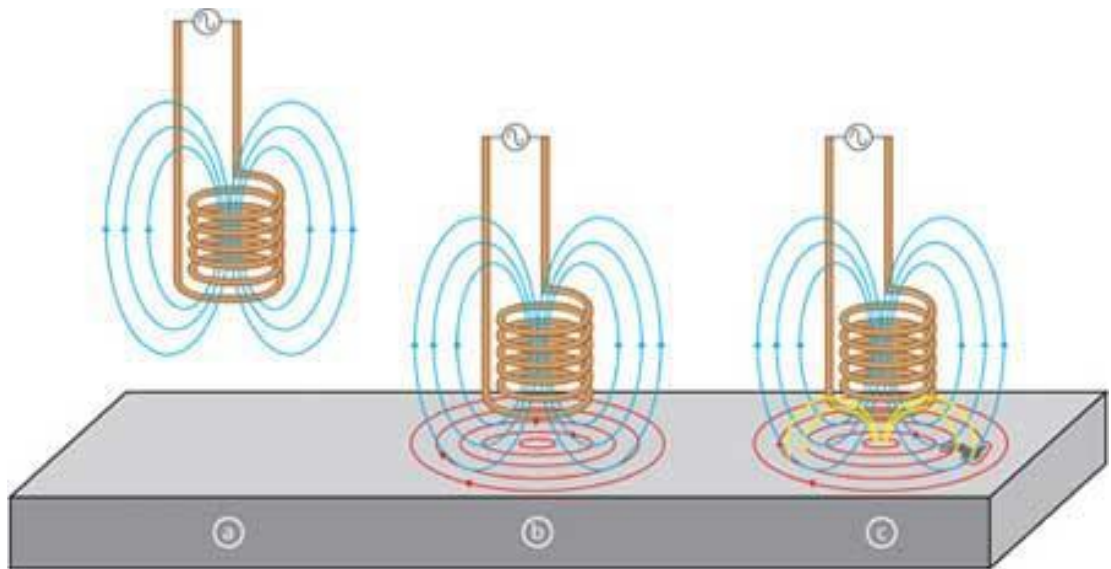


Рис. 5.1 Взаємодія ВСП з ОК

Датчики, призначені для здійснення ВС контролю, виготовлені у вигляді котушки. Форма котушки може бути різною залежно від застосування:

а) Змінний струм заданої частоти, що протікає через котушку, генерує навколо неї магнітне поле;

б) Якщо котушка знаходиться поблизу електропровідного матеріалу, то в ньому виникає вихровий струм;

в) Якщо дефект в матеріалі порушує циркуляцію вихрового струму (Рис.5.2), то індуктивний зв'язок в датчику змінюється та наявність дефекту розпізнається по зміні імпедансу. Додатковою перевагою є також і те, що на сигнали ВСП практично не впливають вологість, тиск та забруднення газового середовища, радіоактивне випромінювання та забруднення поверхні ОК непровідними матеріалами а також простота конструкції ВСП.

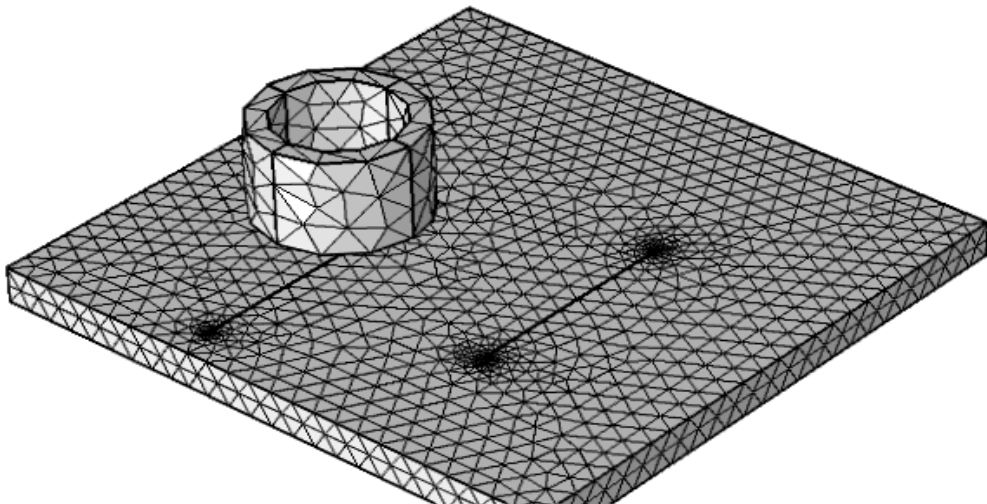


Рис.5.2 Модель циліндричної котушки збудження над алюмінієвою пластиною

Схему вихреструмового неруйнівного контролю ілюструє Рис. 5.3.

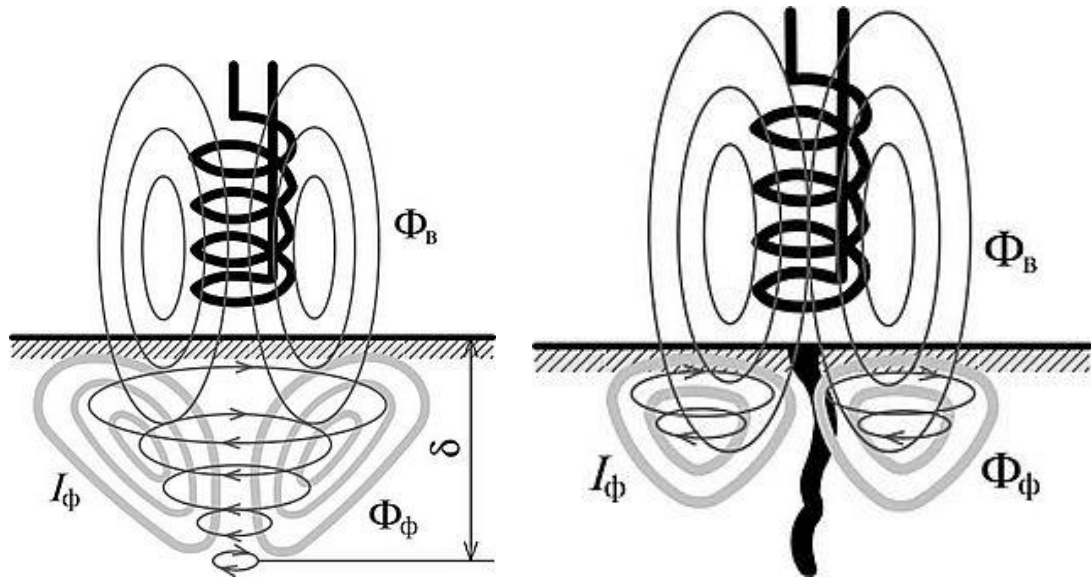


Рис. 5.3 Схema вихреструмового неруйнівного контролю:  
зліва - монолітний метал; праворуч - метал з тріщиною;  
 $\Phi_B$  - електромагнітне поле, яке збуджує вихрові струми;  $\Phi_f$  - наведене електромагнітне поле;  $I_f$  - вихрові струми;  $\delta$  - глибина проникнення.

У сучасній промисловості впровадження вихреструмового методу неруйнівного контролю дозволяють автоматизацію сучасних виробничих ліній, найсучасніші технології промислових автоматизованих програм «роботів», що використовуються в різних областях завдяки своїй значній спроможності зменшити витрати та підвищити продуктивність.

Рис. 5.4 показує зовнішній вигляд промислової системи **FOESTER** (Спільна розробка американських компаній FOERSTER та FANUC під широкий спектр завдань неруйнівного контролю).



Рис. 5.4 Промислова система **FOESTER**

#### **Рекомендована література**

1. Троицкий В. А. Вихретоковый контроль. Учебн. пособие / В. А. Троицкий. -К.:— «Феникс». - 2011. - с. 148.
2. Белокур И.П. Дефектология и неразрушающий контроль. Учебное пособие. —К.: Высшая школа, 1990. – 207 с.

#### **КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ**

1. Опишіть фізику вихрострумового методу контролю авіаційних конструкцій.
2. Назвіть основні особливості вихрострумового методу та приклади його застосування в конкретних випадках контролю авіаційних конструкцій.
3. Як виявити дефект, який слід класифікувати як тріщина?

#### **ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ:**

1. Засвоїти теоретичний матеріал.
2. Відповісти на контрольні запитання.
3. Оформити короткий реферат з відповідями на контрольні запитання та відповідним кресленням або зображенням.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

### ВИХРОСТРУМОВИЙ МЕТОД НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ АВІАЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙ

**Мета заняття:** вивчення особливостей вихрострумowego методу неруйнівного контролю; засвоєння технологічної інструкції при проведенні неруйнівного контролю зон вибірки корозійних поразок елементів конструкції, агрегатів і деталей літаків Ан-32, виготовлених з алюмінієвих сплавів.

**Завдання :** визначити технічні вимоги щодо здійснення контролю, порядку оформлення і реєстрації результатів контролю.

Проведення вихрострумowego контролю поширюється в основному на процеси ремонтно-відновлювальних робіт та технічного обслуговування з метою визначення повноти видалення корозійних уражень.

#### **ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ** на прикладі літака Ан-32

- При проведенні доробок, ремонтно-відновлювальних робіт, а також в процесі технічного обслуговування літаків Ан-32 елементи конструкції, окремі деталі і агрегати піддаються візуальному або інструментальним методам контролю для виявлення і оцінки корозійних уражень.
- До об'єктів контролю відносяться панелі, обшивки, стрингери, фітинги, кронштейни, лонжерони, нервюри і інші елементи силової конструкції літака Ан-32, на яких в процесі візуального контролю були виявлені корозійні пошкодження.
- При визначенні повноти видалення корозії і залишкової товщини невраженого корозією матеріалу використовуються вихрострумовий і ультразвуковий методи неруйнівного контролю.
- Для контролю повноти вибірки корозії, тріщин або підтвердження відсутності тріщин після видалення корозійного ураження, виконується неруйнівний контроль вихрострумовим та ультразвуковим методами.
- Після виконання робіт по вихрострумовому контролю повноти видалення дефектів може виникнути необхідність визначення глибини залишкової товщини деталі в зоні вибірки.
- Радіус кривизни поверхні в зоні проведення вихретокового контролю повинен бути не менше 6 мм.
- Швидкість переміщення перетворювача не повинна перевищувати 50 мм / с.
- Наявність дефектів визначається за показаннями індикаторів і спрацьовування систем сигналізації дефектоскопа.

**Технологія вихретокового контролю** включає наступні операції:

- попередня очистка поверхні для забезпечення повноти видалення корозії. Після цього поверхня висушується, щоб усередині дефекту не залишалося води або очисника;
- вибір типу перетворювача і схем сканування для кожної ділянки контролю (зон вибірки);
- перевірка працездатності та чутливості дефектоскопа і перетворювача з використанням контрольного зразка;
- настройка дефектоскопа на контрольованій деталі;
- контроль зони вибірки;
- розшифровка результатів контролю;
- оформлення результатів контролю.

Вибір типу використовуваного перетворювача залежить від особливостей доступу до зони вибірки, розташування зони щодо краю деталі, наявності переходів, типів кріплення і інших особливостей елементів конструкції.

**Перевірка працездатності вихретокового дефектоскопа** проводиться відповідно до інструкції по його експлуатації і включає в себе наступні операції:

- контроль цілісності електричного кола перетворювача дефектоскопа;
- контроль відповідності напруги живлення дефектоскопа номінальному;
- настройка дефектоскопа на бездефектної ділянці контрольного зразка;
- переміщення перетворювача в зону штучного дефекту на настроювальному зразку;
- контроль спрацювання всіх систем сигналізації дефектоскопа при переміщенні перетворювача над штучним дефектом;

**Якщо при перевірці працездатності виявлені несправності зразка або перетворювача, вони до подальшої роботи непридатні.**

Налаштування дефектоскопа на контрольному зразку необхідно проводити перед контролем кожної нової зони контролю.

Налаштування дефектоскопа проводиться відповідно до інструкції по його експлуатації.

Налаштування дефектоскопа слід проводити, при установці перетворювача в зоні, прилеглій до місця вибірки, по нормалі до контрольованої поверхні. **Допустимий перекося осі котушки індуктивності перетворювача щодо нормалі до поверхні не більше  $\pm 10^\circ$ .**

Перед проведенням контролю необхідно переконатися, що настройка була проведена на бездефектної ділянці. Таку перевірку проводять шляхом переміщення перетворювача по трикутній траєкторії, зі сторонами 3 - 5 мм в зоні без наявності характерних для корозійного пошкодження ознак. **Якщо при цьому показання приладу змінюються незначно то настройка була проведена на бездефектної ділянці.**

Налаштування дефектоскопа необхідно виконувати кожен раз при переході до іншої зони контролю в межах однієї деталі, а також при переході до контролю інших деталей. **Періодично, через 25 - 30 хвилин роботи**

**необхідно перевіряти працездатність дефектоскопа з використанням контрольного зразка.**

Контроль зон вибірки корозійних ділянок здійснюється шляхом сканування (переміщення) перетворювача по всій поверхні зон вибірки відповідно до встановлених схем сканування.

**При контролі зон вибірки плоских ділянок** поверхні деталей, сканування здійснюється шляхом зигзагоподібного переміщення перетворювача в двох взаємно перпендикулярних напрямках з кроком **2 мм**.

**При контролі зон вибірки в районі краю деталі**, сканування здійснюється комбінованим методом. На першому етапі перетворювач переміщується *вздовж краю деталі на відстані 2 мм*. На другому етапі сканування здійснюється шляхом зигзагоподібного переміщення перетворювача в двох *взаємно перпендикулярних напрямках з кроком 2 мм, по всій поверхні вибірки*.

**При контролі зон вибірки в районі встановленої заклепки** (з неферомагнітними матеріалу), сканування здійснюється комбінованим методом. *На першому етапі* перетворювач переміщується по замкнутої траєкторії навколо головки заклепки на відстані 2 мм. *На другому етапі* сканування здійснюється шляхом зигзагоподібного переміщення перетворювача в двох взаємно перпендикулярних напрямках з кроком 2 мм по всій поверхні вибірки.

**При контролі зон вибірки в районі встановленого болта (гвинта) або шайби** з феромагнітного матеріалу, сканування здійснюється комбінованим методом. *На першому етапі* перетворювач переміщується по замкнутої траєкторії навколо болта (гвинта) **на відстані 4 мм**. *На другому етапі* сканування здійснюється шляхом зигзагоподібного переміщення перетворювача в двох взаємно перпендикулярних напрямках з кроком **2 мм**, по всій поверхні вибірки.

#### **Опис обладнання та матеріалів**

1. Матеріали для очищення поверхні ОЖ-1А, ОЖ-1
2. Універсальний шаблон
3. Зразки – еталони з дефектами
4. Вихрострумний дефектоскоп ВД 3-81 Eddycon (Рис.5.5).





Рис. 5.5 Дефектоскоп вихрострумовий.

Дефектоскоп вихрострумовий ВД3-81 Eddycon відноситься до засобів контролю та оцінки дефектів і призначений для ручного контролю вихрострумовий методом на наявність поверхневих і підповерхневих дефектів типу порушення суцільності матеріалу (тріщини, заходи, раковини, волосовини та ін.).

Переваги портативного дефектоскопу ВД 3-81:

- Можливість відбудови від впливу робочого зазору і неоднорідності електромагнітних властивостей об'єкта контролю;
- збереження в пам'яті дефектоскопа великої кількості налаштувань і результатів контролю;

#### Оцінка результату роботи:

У разі спрацювання систем сигналізації та ідентифікації на екрані дефектоскопа, які свідчать про наявність дефекту, необхідно провести переміщення перетворювача відповідно до типової схеми сканування. Якщо все системи ідентифікації дефектоскопа стійко спрацьовують при кожному переміщенні перетворювача в зоні вибірки, значить виявлено дефекти. А виявлені раніше дефекти повністю не усунуто.

Коли спрацювання систем ідентифікації дефектоскопа сталося в точках, що утворюють лінію, **такий дефект слід класифікувати як тріщина**. При цьому необхідно враховувати, що при переміщенні перетворювача в напрямку, перпендикулярному тріщині, відбувається стрибкоподібна зміна показань дефектоскопа з подальшим поверненням до початкових значень, що призводить до короткочасного спрацювання систем сигналізації дефекту.

Коли спрацювання систем ідентифікації дефектоскопа сталося в точках, що утворюють якусь фігуру, відмінну від лінії, **такий дефект можна класифікувати як зону корозійного ураження**. При цьому для підтвердження



характеру дефекту, необхідно додатково виконати візуально-оптичний контроль зони з використанням лупи 4 - 10 кратного збільшення.

*Після виявлення і класифікації дефекту необхідно визначити його геометричні розміри (довжина тріщини, габарити корозійного ураження) і позначити дефект на поверхні контрольованої деталі.*

Результати перевірки оформляються в установленому на підприємстві, де виконується контроль, порядку.

При цьому обов'язково вказуються:

- найменування і номер деталі, яка піддавалася контролю;
- заводський номер літака;
- марку матеріалу, з якого виготовлена деталь;
- при вихрострумовому контролі вказується, виявлені при контролі корозія або тріщини чи ні;
- у разі додаткового використання ультразвукового контролю вказується мінімальна товщина деталі в зоні вибірки;
- дату проведення контролю;
- прізвище особи яка проводила контроль.

## Рекомендована література

1. Механіка руйнування і міцність матеріалів: довідн. посібник / Під. заг. ред. В. В. Панасюка. Т. 9: Міцність і довговічність авіаційних матеріалів та елементів конструкцій / О. П. Осташ, В. М. Федірко, В. М. Учанін та ін. — Львів: Сполом, 2007. — 1068 с.
3. В. Н. Учанин Вихретоковый метод выявления поверхностных дефектов узлов авиационной техники в условиях эксплуатации / В. Н. Учанин, В. Я. Дереча/ Техническая диагностика и неразрушающий контроль, 2006, №4, С. 22-28
4. Учанин В. Н. Вихретоковые мультидифференциальные преобразователи и их применение // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 2006. — № 3. — С. 34–41. 44.
5. Маєвський С.М., Бабак В.П., Щербак Л.М. Основи побудови систем аналізу сигналів у неруйнівному контролі. – К.: Либідь 1993. -197с.
6. Multi-Turn Coil Above an Asymmetric Conductor Plate [Електронний ресурс] // COMSOL Multiphysics – Режим доступу до ресурсу: <https://www.comsol.com/model/multi-turn-coil-above-an-asymmetricconductorplate-13777>.

### **Порядок ведення роботи**

#### **Роботу проводити в наступній послідовності:**

1. Очищення поверхні зразків аерозолями ОЖ-1А, ОЖ-1.
2. Налаштування вихрострумового дефектоскопу ВД 3-81 Eddycon
3. Сканування запропонованих деталей та виявлення дефектів.
4. Після виявлення і класифікації дефекту необхідно визначити його геометричні розміри (довжина тріщини, габарити корозійного ураження) і позначити дефект на поверхні контрольованої деталі.

#### **Оформлення результатів виконання роботи:**

1. Описати етапи проведення контролю.
2. Заповнити Журнал проведення контролю капілярним методом (форма додається).
3. Зробити і записати висновки.

### **ФОРМА ЖУРНАЛА ПРОВЕДЕННЯ КОНТРОЛЮ**

Дата проведення контролю	Номер об'єкту контролю	Матеріал зразка, Визначення зони контролю	Набір дефектоскопічних матеріалів та приладів	Виявлені дефекти	Примітка викладача

## **ПРАКТИЧНА РОБОТА № 6**

### **УЛЬТРАЗВУКОВИЙ МЕТОД НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ**

### **АВІАЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙ**

**Мета заняття:** засвоєння теоретичних знань щодо особливостей магнітопорошкового методу неруйнівного контролю.

#### **Теоретичні відомості**

##### **Основи методу та засоби ультразвукового (акустичного) методу неруйнівного контролю**

Акустичний метод НК заснований на реєстрації та аналізі пружних хвиль, які розповсюджуються в контрольованому об'єкті. При частоті, більше 20 мГц, дозволяється використовувати термін «ультразвуковий».

До акустичних методів неруйнівного контролю відносять велику область випробування матеріалів і виробів, засновану на застосуванні пружних коливань і хвиль, точніше, на реєстрації параметрів пружних хвиль, порушуваних або виникаючих в об'єкті неруйнівного контролю.

Методи неруйнівного акустичного контролю широко застосовують завдяки ряду їх переваг: хвилі легко вводяться в об'єкт контролю, добре поширюються в металах, бетоні та інших матеріалах; ефективні при виявленні дефектів з малим розкриттям, чутливі до зміни структури і фізико-механічних властивостей матеріалів, не представляють небезпеки для персоналу. Використання різних типів хвиль (подовжніх, поперечних, поверхневих, нормальних та інших) розширює можливості акустичних методів неруйнівного контролю.

Світовий досвід показує, що використання ультразвукового неруйнівного контролю в авіації, машинобудуванні, металургії, енергетиці, будівництві, транспортній промисловості сприяє поліпшенню якості продукції, забезпечення безаварійної експлуатації енергетичних установок і транспортних засобів, підвищенню продуктивності праці, зниження матеріаломісткості конструкцій та споруд, поліпшенню якості продукції, що випускається, економії сировинних і трудових ресурсів

Для акустичного методу неруйнівного контролю застосовують коливання ультразвукового та звукового коливання діапазонів частотою від 50 Гц до 50 МГц. Інтенсивність коливань зазвичай невелика, не перевищує 1 кВт/м<sup>2</sup>. Такі коливання відбуваються в області пружних деформацій середовища, де напруга і деформації пов'язані пропорційною залежністю (область лінійної акустики).

Амплітуда акустичних хвиль в рідинах і газах характеризується одним з наступних параметрів:

акустичним тиском (Па) або зміною тиску відносно середнього значення тиску в середовищі:

$$p = \rho \cdot c \cdot |v|$$

де  $c$  – швидкість поширення акустичних хвиль;  $\rho$  – густина середовища; зміщенням  $v$  (м) частинок середовища з положення рівноваги в процесі коливального руху;

швидкістю (м/с) коливального руху частинок середовища

$$v = \frac{du}{dt}$$

де  $t$  – час.

Крім пружності за об'ємом, в твердому тілі існує пружність по формі, тому в тілі можуть поширюватися хвилі двох типів : повздовжні та поперечні.

### **Класифікація методів контролю**

Згідно ДСТУ EN ISO 16946:2017 «Неруйнівний контроль. Ультразвуковий контроль» акустичні методи ділять *на дві великі групи*: використовуючи випромінювання і прийом акустичних хвиль (активні методи) і засновані тільки на прийомі хвиль (пасивні методи). У кожній з груп можна виділити методи, засновані на виникненні в об'єкті контролю рухомих і стоячих хвиль, або коливань.

*Активні акустичні методи*, в яких застосовують хвилі, що біжать, ділять на дві підгрупи, що використовують проходження і віддзеркалення хвиль. Застосовують як безперервне, так і імпульсне випромінювання.

До методів проходження відносяться наступні.

*Тіньовий метод* заснований на зменшенні амплітуди хвилі, що пройшла, під впливом дефекту.

Часовий тіньовий метод заснований на запізнюванні імпульсу, викликаному оточуванням дефекту.

Дзеркально-тіньовий метод заснований на послабленні сигналу, відбитого від протилежної поверхні виробу (донного сигналу).

Велосиметричний метод заснований на зміні швидкості пружних хвиль за наявності дефекту.

### **Ехо-метод**

Ехо-метод реєструє ехо-сигнали від дефектів.

Дзеркальний ехо-метод заснований на дзеркальному віддзеркаленні імпульсів від дефектів, орієнтованих вертикально до поверхні, з якої ведеться контроль. Для цього похилі перетворювачі (А і С) розташовують по різні сторони виробу (К-метод) або по одну сторону виробу (А і В), використовуючи віддзеркалення від нижньої поверхні. Це підвищує надійність виявлення непроварів і тріщин у зварних швах. У процесі контролю за допомогою механічних або електричних пристроїв виконується умова  $I_a + I_b = \text{const}$ .

### **Імпедансний метод**

Від розглянутих акустичних методів НК істотно відрізняється імпедансний метод. Він заснований на аналізі зміни механічного імпедансу ділянки поверхні контролюючого об'єкту, з яким взаємодіє перетворювач. Про зміні імпедансу судять по характеристикам коливань перетворювача: частоті, амплітуді, фазі. У вітчизняних низькочастотних дефектоскопах імпедансу перетворювач має форму стержня. У деяких іноземних приладах (Бонд-тестер, США) перетворювач виконують у формі п'єзопластини з протектором і демпфером. Частота коливань тут значно вище.

При використанні стоячих хвиль збуджуються вільні або змушені коливання або об'єкту контролю в цілому (інтегральні методи), або його частини (локальні методи). Вільні коливання в об'єкті найчастіше збуджуються шляхом механічного удару, а вимушені - шляхом дії гармонійної сили, частота якої змінюється. Стан (бездефектність) об'єкту аналізують по власній частоті вільних коливань або по резонансах вимушених коливань. Рідше використовують амплітуду відповідних коливань.

### ***Метод акустичної емісії***

Найбільш характерним ***пасивним методом***, що використовує рухомі хвилі, є акустико-емісійний метод. При акустичній емісії пружні хвилі випромінюються самим матеріалом в результаті внутрішньої динамічної локальної перестройки його структури. Такі явища, як виникнення і розвиток тріщин, алотропічні перетворення, рух скупчень дислокацій, - найбільш характерні джерела акустичної емісії. Контактуючі з виробом п'єзоперетворювачі приймають пружні хвилі і дозволяють встановити місце їх джерела (дефекту), Рис. 6.1.

Акустичний метод неруйнівного контролю знаходить своє застосування в різних областях. Це не тільки аерокосмічна техніка, а й об'єкти котлонагляду, системі газопостачання, підйомні споруди, об'єкти гірничорудної та вугільної промисловості, нафтова, газова та металургійна промисловість, обладнання вибухопожежонебезпечних та хімічно небезпечних виробництв, об'єкти залізничного транспорту, зберігання та переробки зерна та інші.

В авіації акустичний метод неруйнівного контролю конструкцій використовують для перевірки силових елементів літальних апаратів і композиційних матеріалів.

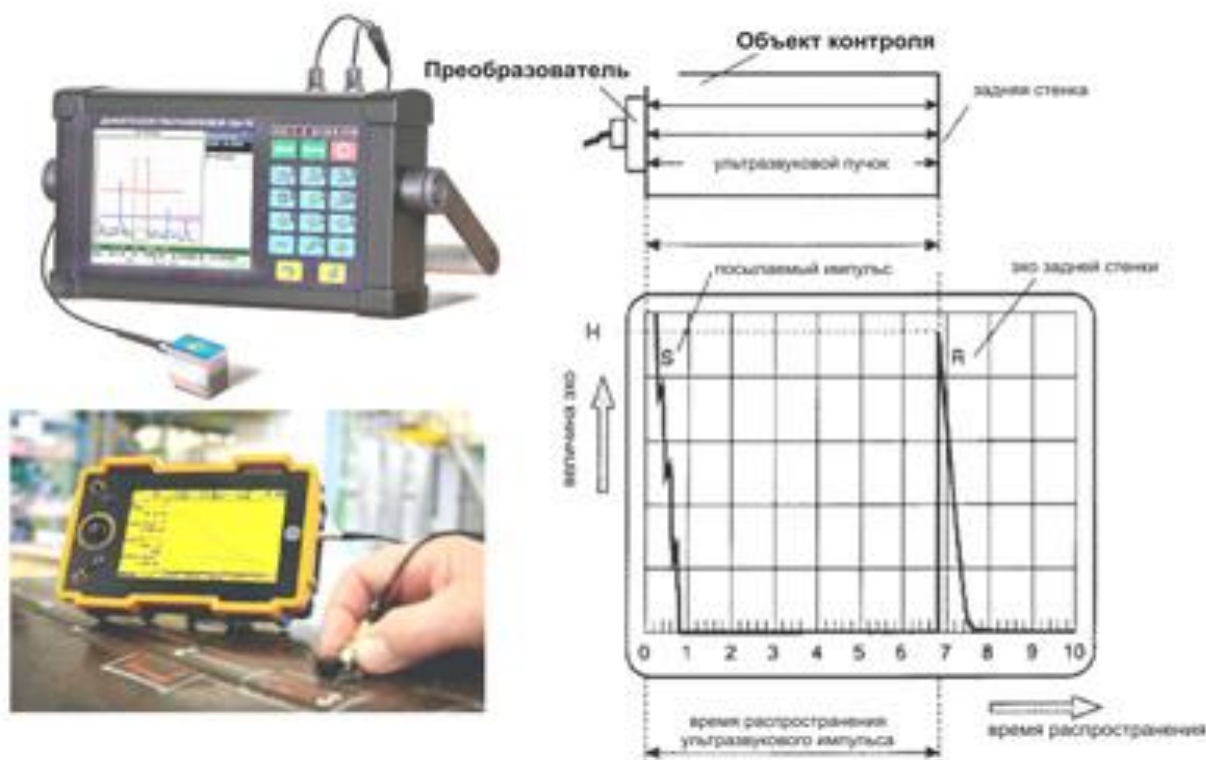


Рис. 6.1 Акустичний метод неруйнівного контролю

Збудження в контрольованому виробі імпульсів дозволяє отримувати відбиті сигнали; виведення реєстрованих перетворювачем і допоміжних сигналів на екран підвищеної яскравості.

#### РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Алешин Н. П., Лукачев В. Г. Ультразвуковая дефектоскопия. — Минск: Высшая школа, 1987. — 271 с.
2. Королев М. В., Карпельсон А. Е. Широкополосные ультразвуковые пьезопреобразователи. — М.: Машиностроение, 1982. — 220 с.
3. Ермолов И. И. Теория и практика ультразвукового контроля. — М.: Машиностроение, 1981. — 240 с. (рос.)

#### КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Опишіть фізику ультразвукового контролю.
2. Опишіть класифікацію методів ультразвукового контролю.
3. Назвіть основні положення та область використання ультразвукового контролю.
4. Сформулюйте основні операції ультразвукового контролю.

#### ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ:

1. Засвоїти теоретичний матеріал.
2. Відповісти на контрольні запитання.
3. Оформити короткий реферат з відповідями на контрольні запитання та відповідним кресленням або зображенням.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

### УЛЬТРАЗВУКОВИЙ МЕТОД НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ

**Мета заняття:** засвоєння методу та технологічного процесу ультразвукового методу неруйнівного контролю авіаційних конструкцій.

**Завдання :** визначити технічні вимоги щодо здійснення технології контролю, порядок оформлення і реєстрації результатів контролю

Методи неруйнівного ультразвукового (акустичного) контролю широко застосовують завдяки ряду їх переваг:

- хвилі легко вводяться в об'єкт контролю,
- добре поширюються в металах, бетоні та інших матеріалах; ефективні при виявленні дефектів з малим розкриттям,
- чутливі до зміни структури і фізико-механічних властивостей матеріалів,
- не представляють небезпеки для персоналу.

Використання різних типів хвиль (поздовжніх, поверхневих, нормальних та інших) розширює можливості акустичних методів неруйнівного контролю.

Принцип проведення контролю (Рис.6.2) і вимірювань за допомогою ультразвукового імпульсного методу заснований на тому, що випромінювач посиляє у виріб ультразвукові імпульси, а при зустрічі з перепорою, наприклад, з дефектом,

частина енергії ультразвукової хвилі відбивається і повертається назад до випромінювача.

Приймач ультразвукових коливань перетворює ультразвукові коливання, які пройшли через виріб, в електричні, які надходять на екран - основний індикатор дефектоскопа.

Переміщуючи датчик-п'єзoeлемент уздовж деталі, оператор визначає місце дефекту по максимуму сигналу.

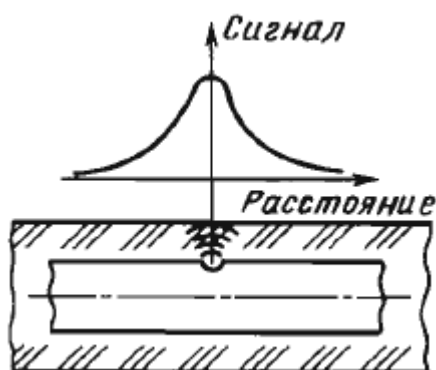


Рис.6.2 Принцип проведення ультразвукового контролю

## Опис лабораторного обладнання та матеріалів

1. Матеріали для очищення поверхні ОЖ-1А, ОЖ-1 у разі потреби .
2. Матеріали для змочування поверхні (контактна рідина) з метою підвищення акустичного контакту: трансформаторна олія або змазки типу ЦІАТІМ, гліцерин і т.п.
3. Ультразвуковий дефектоскоп УД2-12 (Рис.6.3)



Рис.6.3 Ультразвуковий дефектоскоп

Дефектоскоп УД2-12 є одним з найпоширеніших засобів у.з. контролю, що володіє наступними можливостями: збудження в контрольованому виробі імпульсів квазіколоколообразной форми дозволяє отримувати відбиті сигнали більшої амплітуди; виведення реєстрованих перетворювачем і допоміжних сигналів на екран підвищеної яскравості; настройка дефектоскопа і проведення контролю виробів з використанням другої розгортки; придушення шумів. Прилад УД2-12 є дефектоскопом загального призначення. Це означає, що він: оможет застосовуватися в різних галузях народного господарства; придатний для контролю широкого кола об'єктів

4. Зразки-еталони.
5. Натурні зразки як об'єкти контролю.

### Порядок проведення роботи:

1. Підготовка поверхні об'єкта : очищення у разі забруднення; змочування контактною рідиною.
2. Перевірка та настройка дефектоскопу.
3. Виявлення дефектів запропонованих зразків з наскрізним дефектом або з тріщиною, який проявляється сигналом на екрані дефектоскопа.

### Оформлення результатів виконання роботи:

1. Описати етапи проведення контролю.
2. Заповнити Журнал проведення контролю капілярним методом (форма додається).
3. Зробити і записати висновки.

## ФОРМА ЖУРНАЛА ПРОВЕДЕННЯ КОНТРОЛЮ



Дата проведення контролю	Номер об'єкту контролю	Матеріал зразка, Визначення зони контролю	Набір дефектоскопічних матеріалів	Виявлені дефекти	Примітка викладача

## **ПРАКТИЧНА РОБОТА № 7**

### **МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ТЕЧЕШУКАННЯ ОКРЕМИХ КОНСТРУКЦІЙ ЛІТАКА. КОНТРОЛЬ ГЕРМЕТИЧНОСТІ**

**Мета заняття:** засвоєння теоретичних знань щодо особливостей течешукання окремих конструкцій літака та контроль герметичності замкнених систем авіавиробу.

**Завдання :** Ознайомитись з методиками течешукання та контролю герметичності методами неруйнівного контролю.

#### **Загальні поняття. Теоретичні відомості.**

Течі - це канали або пориста ділянка деталі або її елементів, які порушують їх герметичність. Як правило, малі характерні розміри течі виключають можливість їх візуального спостереження або виявлення іншими методами.

Контроль герметичності конструкцій - напрямок неруйнуючих випробувань конструкцій методом проникаючих речовин. Його завданням є виявлення наскрізних дефектів, що порушують ізоляцію і працездатність замкнених об'ємів (баків, цистерн, резервуарів, трубопроводів і т.п.), замкнених аерокосмічних систем. Яскравим прикладом таких об'єктів є паливна система літального апарату, одним з основних вимог до якої є герметичність. Забезпечення двигунів паливом протягом усього автономного польоту не може бути реалізовано, якщо порушена герметичність паливної системи. Завдання герметичності паливної системи літального апарату ускладнено унікальною проникаючою здатністю авіаційного палива. На сучасних великогабаритних літаках обсяг паливних баків-кесонів досягає десятків кубічних метрів, тому забезпечення їх герметичності є актуальною технічною вимогою. Слід також пам'ятати про високу горючість гасу.

Не менш актуальним є забезпечення герметичності фюзеляжу, салонів та багажних відсіків літальних апаратів. Найважливішою експлуатаційною вимогою для виробів замкнених об'ємів є герметичність, тому пошук і ремонт течі в авіаційних і ракетних системах виділяють в окремий напрям дефектоскопії.

Герметичність - це здатність виробу зберігати в робочих умовах початкову кількість речовин, які містяться в ньому. Контроль герметичності виробів проводять в тих випадках, коли вони призначені для роботи під тиском газів або рідин. Необхідність контролю, методи і способи випробувань на герметичність і їх обсяг встановлюється в технічній документації в залежності від призначення, умов роботи виробу і здійсненності тих чи інших методів і способів.

Існуючі методи контролю герметичності можна умовно поділити на газові, рідинні, газорідинні і технологічні.

У загальному випадку порушення герметичності визначається наявністю наскрізних капілярних каналів в оболонці та з'єднаннях або проникністю основного матеріалу з порушеною структурою. Проникність як властивість матеріалу повинна враховуватися при виборі матеріалів в процесі конструювання. Проникність має вибіркового характеру. При наявності течії виявляється потік речовини - прямий зв'язок через обидва боки виробу. Це дозволяє базувати методи течешукування на застосуванні різних пробних речовин, які виявляють після проникнення через течії.

Теча - це канал або пориста ділянка виробу, що порушує герметичність. Як правило малі характерні розміри течії виключають можливість їх візуального спостереження або виявлення усіма іншими методами дефектоскопії крім методів проникаючих речовин. Малі розміри і неоднорідність течії по довжині не дозволяють визначати їх геометричні розміри. Тому величини течії прийнято характеризувати потоками речовин, які протікають через них. Відповідно в величинах потоків виражається і поріг чутливості. Оскільки кількість речовини, яка протікає, залежить від властивостей цієї речовини, температури і перепаду тиску на каналі течії, то чекаючи однозначності прийнято характеризувати течії кількісно потоком повітря, що проходить через нього з атмосфери в вакуум при температурі близько 18<sup>0</sup>С. Вимоги до порогу чутливості випробування виробів встановлюють виходячи з вимог до їх герметичності. Абсолютна герметичність недосяжна і неконтрольована.

Герметичними прийнято вважати конструкції в разі, якщо протікання досить мало для того, щоб його впливом можна знехтувати в умовах експлуатації та зберігання. Досвід показує, що в більшості випадків течії з'являються в роз'ємних та нероз'ємних з'єднаннях і носять дискретний характер. Імовірність появи течії (менше 10<sup>-6</sup> л.мкм рт.ст. / с ) дуже мала і в більшості випадків нею можна знехтувати, орієнтуючись на визначення порогу чутливості випробувань , який дорівнює 10<sup>-6</sup> л.мкм рт.ст / с.

Великі течії можна легко виявити візуально. Натомість, малі розміри каналів течії (на рівні порогу чутливості) обумовлюють значну ймовірність закупорки каналів, що перешкоджає проходженню проникаючих речовин і виявленню течії під час випробувань. Закупорка може відбутися в результаті механічної обробки, попадання в канал пилюнок, олії, кислот, лугів, води та ін. Вельми вірогідна закупорка течії вологою повітря. Герметизація подібного роду сторонніми включеннями ненадійна. Не виявлені під час випробувань закупорені течії можуть розкриватися в неконтрольований момент часу. Тому особливого значення набуває правильний вибір етапу проведення випробувань і підготовки до них виробів. Випробування повинні проводитися до фарбування поверхонь і нанесення покриттів, якщо вони не застосовуються спеціально для герметизації. Перед випробуванням виробів, які тривалий час зберігалися в звичайних атмосферних умовах, необхідно вживати заходів для звільнення течії від вологи.

При контролі герметичності особливо великогабаритних виробів попередньо виявляють факт негерметичності (глобальні випробування), потім

виявляють негерметичну ділянку (локалізація течі) а на останньому етапі знаходять місця течі.

Методи течешукування, що застосовуються при цьому, істотно різняться при цьому як по чутливості, так і за принципами виявлення пробної речовини. Вибір їх залежить від характеристики виробу і схеми випробування. Контроль герметичності виробів заснований на проникненні пробних речовин (газів або рідин) через наскрізні дефекти (течі) і їх реєстрація за допомогою різних приладів та інших засобів реєстрації індикаторних речовин.

Пробною називають речовину, яку вибрали для реєстрації при цьому методі контролю, наприклад гелій при мас-спектрометричному контролі, фреон при галогенному і т. д.

Контрольною речовиною називають суміш пробної речовини з будь-яким технологічно і економічно доцільним наповнювачем, наприклад, гелієво-повітряну або гелієво-азотну суміш при мас-спектрометричному контролі. У якості пробних і контрольних речовин при контролі герметичності використовують гази і їх суміші (повітря, гелій, фреон, аргон, азот, оксид азоту, аміак, радіоізотопні гази), а також рідини і їх суміші.

Існуючі методи контролю герметичності умовно поділяють на газові, рідинні, газорідинні і технологічні. Для спрощення розрахунку потоку канал течі представляють у вигляді гладкого циліндричного каналу (ефективний діаметр  $d$  течі). Оскільки тепловий рух молекули в каналі (течі) хаотичний, прямолінійні ділянки її шляху не можуть бути однаковими, тому вводять поняття середня довжина вільного шляху молекули  $\lambda_m$ . Залежно від співвідношення середньої довжини вільного шляху молекул і ефективного діаметру каналу розрізняють три режими протікання: в'язкий ( $\lambda_m \ll d$ ), молекулярно - в'язкий ( $\lambda_m \sim d$ ), молекулярний ( $\lambda_m > d$ ). Умові  $\lambda_m \ll d$  відповідають макрокапілярні течі. Умова  $\lambda_m \gg d$  справедлива для мікрокапілярної течі. Повний перехід від в'язкого режиму протікання до молекулярного відбувається в інтервалі зміни тисків приблизно в 100 разів, причому за умови  $\lambda_m \sim d$  метод не реально застосовувати.

**Класифікація методів пошуку течі щодо технічної діагностики виробу на герметичність.**

Залежно від способу індикації інформації про порушення герметичності методи контролю поділяють на мас-спектрометричний, галогенний метод контролю, манометричний метод, візуальний, акустичний, радіаційний і т.п.

При виборі і використанні методів течешукування необхідно керуватися європейськими стандартами EN 1779 і EN 1593.

#### РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. Т. 1 и 2. Под ред. Ключева В. В. — М.: Машиностроение, 1986. (рос.)
2. Білокур І. П. Основи дефектоскопії: Підручник. — К.: «Азимут-Україна», 2004. — 496 с.

## КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Назвіть методи течешукання.
2. Як проводять контроль пінними речовинами?
3. В чому особливості пошуку течі в паливній системі літака?
4. Як знайти дефекти в замкненій авіа конструкції?
5. Що розуміють під контролем герметичності?
6. Дайте визначення течі.

## ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ:

1. Засвоїти теоретичний матеріал.
2. Відповісти на контрольні запитання.
3. Оформити короткий реферат з відповідями на контрольні запитання та відповідним кресленням або зображенням.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7 МЕТОДИ ТЕЧЕШУКАННЯ ОКРЕМИХ КОНСТРУКЦІЙ ЛІТАКА ТА КОНТРОЛЬ ПРОНИКАЮЧИМИ РЕЧОВИНАМИ

**Мета заняття:** вивчення особливостей методу течешукання та контролю проникаючими речовинами

**Завдання :** Виявити дефекти, оцінити розмір розкриття, опробувати метод з різними типами дефектів, на різних матеріалах конструкцій.

**Контроль проникаючими речовинами** - неруйнівний контроль, заснований на проникненні індикаторних речовин у порожнину дефектів об'єкта контролю. Необхідною умовою виявлення дефектів типу порушення суцільності матеріалу методами проникаючих речовин є наявність порожнин, вільних від забруднень та інших речовин, що мають вихід на поверхню об'єктів і глибину поширення, що значно перевищує ширину їх розкриття.

Малі розміри перетинів і неоднорідність їх по довжині звивистих каналів не дозволяють характеризувати течі геометричними розмірами.

*Тому величину течі прийнято визначати потоками проникаючих через них речовин.* Відповідно, величиною потоків визначається поріг чутливості апаратури і методів, так само як і діапазон виявлених течій. Оскільки кількість матеріалу, яка перетікає залежить від його властивостей, температури і перепадів тиску на каналі течі, то для однозначності прийнято характеризувати течі потоком повітря, що проходить через неї з атмосфери в вакуум при температурі 18°C.

Вимоги до порогу чутливості методів контролю встановлюють виходячи з вимог до герметичності конструкції. Абсолютна герметичність недосяжна і неконтрольована.

Герметичними прийнято вважати конструкції, якщо перетікання через них проникаючих речовин досить мало для того, щоб їх впливом можна було знехтувати в умовах експлуатації та зберігання. Методи течопошуку істотно відрізняються як по чутливості і вибірковості реакції на індикаторну речовину, так і за принципом виявлення індикаторної речовини через течі.

Засоби течешукання :

1. Промислові мас-спектрометричні течешукачі.
2. Акустичний течешукач. Для пошуку наскрізних дефектів використовуються акустичні коливання, які формуються при витоку повітря або іншого газу через дефект.
3. Піноутворюючі матеріали, які створюють бульбашки піни в місті витоку газів через дефект.
4. Пенетранти (кольорові або люмінесцентні). які формують сліди дефектів і допомагають візуально виявити наскрізні пошкодження в конструкціях.

#### **Технологія контролю герметичності. Апаратура.**

1. Найбільшою чутливістю обладують промислові мас-спектрометричні течешукачі, що реагують тільки на індикаторну речовину не залежно від присутності сторонніх парів і газів. Промислові мас-спектрометричні течешукачі налаштовані на роботу с гелієм. Наявність власної системи вакуумірування дозволяє калібрувати їх по потокам.

2. Течешукач акустичний (Рис.7.1).

Течешукач Тіам-3 не є засобом вимірювання, вони не показують кількісні параметри витоку газу і є засобом визначення місця витоку газу. При правильному використанні течешукача він зможе визначити 95% витоків.



Рис.7.1 Течешукач акустичний

Течешукач акустичний Тіам-3 призначений для:

- контролю герметичності в авіації,
- контролю герметичності пневматичних систем в процесі експлуатації,
- пошуку витоків у газових мережах та наземних ділянках газопроводів,
- виявлення витоків і визначення місця течії в протяжних і розгалужених системах при створенні тиску,
- контролю зношування підшипників,
- діагностики гальмівних пневмосистем транспортних засобів та паливних систем газобалонних автомобілів,
- виявлення дугових розрядів, коронних розрядів і витоків струму,
- контролю іскріння щіток колекторних електричних машин.

**Принцип дії течешукача** Тіам-3: перетворювати в електричний сигнал ультразвукові хвилі, що генеруються витікаючим струменем газу, роботою несправного підшипника, дуговим або коронним розрядом в трансформаторі. Потім фільтрує сигнал з метою виключення сторонніх шумів і перетворює його для індикації.

Течешукач Тіам 3 містить мікрофон, підсилювач, фільтр верхніх частот, перетворювач височастотного сигналу в чутний, низькочастотний підсилювач. Технічні характеристики надаються у Табл.7.1.

Прилад реагує також на коронний розряд, іскріння щіток колекторних електричних машин, «сухе» тертя в підшипниках, так як ці процеси генерують ультразвук аналогічного спектрального складу.

При перевірці замкнених герметично окремих деталей авіа конструкцій витік газу через отвори менше 0.02 кв. мм при тиску 0.2 атм. Виявляється на відстані більше 10 м.

Таблиця 7.1 Технічні характеристики течешукача Тіам-3

Частотний діапазон, кГц	37 – 44
Рівень власних шумів в 1/3 октавній смузі з середньою частотою 40 кГц, дБ	не більше 10
Величина надлишкового тиску всередині досліджуваного об'єкта, кГс / см	не менше 0,1
Перетин дефектного отвору, мм	не менше 0,02
Дистанція виявлення витоків газу, м	не менше 10
Кут розчину діаграми спрямованості, град	$20 \pm 3$ , $30 \pm 4$
Маса приладу, кг	0,31
Габарити приладу (ВхШхГ), мм	31х51х90
Струм споживання, мА	16
Час зарядки акумулятора, год	не більше 10

### 3. Індикаторний матеріал «ІФХ-КОЛОП-П»

Використовується в цілях безпеки і дозволяє виявляти витік газів, що виникають внаслідок порушення герметичності трубопроводів і конструкцій. Місця розташування течії визначають за наявності стійкої піни («кокону»), що утворюється з *Індикаторного матеріалу* ІФХ-КОЛОП-П (Табл.7.2).

Таблиця 7.2 Фізико-хімічні характеристики

Зовнішній вигляд і колір	прозора безбарвна рідина
Щільність, г / см <sup>3</sup>	1,01-1,02
рН	6,0-7,0
Вміст іонів хлору та сірки, ppm, не більше	200
Порогова чутливість контролю герметичності, м <sup>3</sup> • Па/с	більше 6,7 • 10 <sup>-7</sup> до 6,7 • 10 <sup>-6</sup>
Робочий діапазон температур, ° С	від мінус 5 до 50
Хімічний склад	відповідно до ПНАЕ Г-7-019-89
Характеристики аерозоля	
Витіснювач CO <sub>2</sub>	3%
Активний стан	97%

Індикаторний матеріал "ІФХ-КОЛОР-П" є безпечним продуктом практичного використання. Він дозволяє швидко виявляти будь-яку витік газу або стисненого повітря для всіх видів трубопроводів і резервуарів. Він використовується на зварних швах, гнучких фланцях і жорстких трубопроводах. Цей продукт можна використовувати для всіх видів газів, включаючи кисень. Він не викликає згодом корозії. Продукт негорючий, нетоксичний, не є небезпечним.

### Порядок ведення роботи

Роботу проводити в наступній послідовності:

1. Замкнений об'єм конструкції, яка діагностується на герметичність накачують звичайним повітрям і створюють додатковий тиск в конструкції, наприклад в топ ливному баку – кесону літака;
2. На поверхню кесону наносять з аерозольного балону індикаторний матеріал "ІФХ-КОЛОР-П", у складі якого є акрілати, які стабілізують піну;
3. В зоні дефекту на контрольованій поверхні візуально спостерігають «кокони» в місцях витоку повітря через дефект.

### Порядок виконання роботи

*Планується на прикладі діагностики окремих конструкцій літака АН-24, який розташований в приміщенні лабораторного центру кафедри, провести демонстрацію технологій течешуку паливного баку – кесону:*



- a) акустичним течешукачем ,
- b) індикаторним матеріалом "ІФХ-КОЛОР-П".

**Оформлення результатів виконання роботи:**

1. Описати етапи проведення контролю.
2. Заповнити Журнал проведення контролю методами НК (форма додається).
3. Зробити і записати висновки.

**ФОРМА ЖУРНАЛА ПРОВЕДЕННЯ КОНТРОЛЮ**

Дата проведення контролю	Номер об'єкту контролю	Матеріал зразка, Визначення зони контролю	Набір дефектоскопічних матеріалів	Виявлені дефекти	Примітка викладача

## Практична робота №8

### ВПРОВАДЖЕННЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ В АВІАЦІЇ

Показ документальних фільмів:

1. Відео ілюструє методи неруйнівного контролю літаку АН-26, розташованому в лабораторному центрі ІАТ КП. Створено доцентом кафедри АРБ ІАТ Казакевичем М.Л. за допомогою начальника відділу ДП АНТОНОВ Деречі В.Я.

(посилання на фільм надсилається окремо)

2. Пратика впровадження методів неруйнівного контролю в авіації.  
<https://www.youtube.com/watch?v=N50g1SBe1EU>

**Завдання:** за результатами перегляду фільмів написати реферат, висвітливши питання:

1. Які конструкції літака перевіряються на герметичність і якими методами?
2. Які системи літака перевіряють капілярним, вихрострумовим та магнітопорошковим методами?

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНІ МАТЕРІАЛИ З ДИСЦИПЛІНИ

1. Стороженко В. К., Вавилов В. П. и др. Неразрушающий контроль качества промышленной продукции активным тепловым методом. — К.: Техніка, 1988.
2. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. Т. 1 и 2. Под ред. Ключева В. В. — М.: Машиностроение, 1986. (рос.)
3. Лабораторний практикум з дисципліни «Оптичний, тепловий та радіохвильовий контроль». — Івано-Франківськ: ІФДТУНГ, 1997.
4. Методичні вказівки для виконання курсового проекту з дисципліни «Оптичний, тепловий та радіохвильовий контроль». — Івано-Франківськ: ІФДТУНГ, 1997.
5. Маєвський С. М., Бабак В. П., Щербак Л. М. Основа побудови систем аналізу сигналів у неруйнівному контролі: Навч. посібник для студ. вузів, які навчаються за спец «Фізичні методи та прилади інтроскопії». — К.: Либідь, 1993. — 200 с.
6. Храмов В. А. Первинні вимірювальні перетворювачі вимірювальних приладів і автоматичних систем: Навч.посібник. — К.: Вища школа, 1998. — 527 с.
7. Бублик Г. Ф. Фізичні процеси в приладах і системах: Навч. посібник. — К.: Либідь, 1997.-200 с.
8. Білокур І. П. Основи дефектоскопії: Підручник. — К.: «Азимут-Україна», 2004. — 496 с.
9. Білокур І. П. Елементи дефектоскопії при вивченні неруйнівного контролю. — К.: НМК ВО, 1990. — 252 с.
10. Алешин Н. П., Лукачев В. Г. Ультразвуковая дефектоскопия. — Минск: Высшая школа, 1987. — 271 с.
11. Королев М. В., Карпельсон А. Е. Широкополосные ультразвуковые пьезопреобразователи. — М.: Машиностроение, 1982. — 220 с.
12. Ермолов И. И. Теория и практика ультразвукового контроля. — М.: Машиностроение, 1981. — 240 с. (рос.)
13. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. Справочник. Под ред. В.В.Ключева, кн.2.-М.: Машиностроение, 1986 г. с. 6-81.
14. Неразрушающий контроль качества строительных конструкций, В.А.Троицкий, В.П.Радько, В.Г.Демидко, В.Г.Бобров, К., Техника, 1986. - 159 с.
15. Неразрушающий контроль материалов и изделий. Справочник. Под ред. Т.С.Самойловича. - М.: Машиностроение, 1976, с.8-30.
16. .Мак-Мастер. Справочник по неразрушающим испытаниям, т. II - М.: "Энергия", 1965, 492 с.
17. В.С.Козлов. Техника магнитографической дефектоскопии. Минск, 1976, 220 с.
18. С.Тикадзуми. Физика ферромагнетизма. - М.: Мир,1983, 304 с.

19. Г.С. Шелихов . Магнитопорошковая дефектоскопия деталей и узлов. М., Эксперт, 1995г., 224с.
20. Справочник по оборудованию для дефектоскопии сварных швов, Троицкий В.А., Боровиков А.С., Радько В.П. и др. - К.: Техника, 1987. - 126 с.
21. Краткое пособие по контролю качества сварных соединений. Издание второе. Троицкий В.А., К., 1997. - 224 с.
22. ДСТУ EN ISO 9934-1. Неразрушающий контроль. Магнитопорошковый контроль. Часть 1. Общие требования.
23. ДСТУ EN ISO 9934-2. Неразрушающий контроль. Магнитопорошковый контроль. Часть 2. Средства контроля.
24. ДСТУ EN ISO 3059:2007 Неруйнівний контроль. Капілярний та магнітопорошковий контроль. Умови огляду
25. ДСТУ EN 10228-1:2005 Контроль поковок из стали неразрушающий. Часть 1. Контроль магнитопорошковый
26. ДСТУ EN ISO 9712:2014 «Неруйнівний контроль. Кваліфікація та сертифікація персоналу неруйнівного контролю». // 2016. – 43 с.
27. ДСТУ EN 4179:2017 «Аерокосмічна серія. Кваліфікація і атестація персоналу для неруйнівного контролю». // 2017. – 31 с.
28. SNT-TC-1A «Personnel Qualification and Certification in Nondestructive Testing» // The American Society for Nondestructive Testing. – 2011. – 40 p.
29. III науково-технічна конференція “НК в контексті асоційованого членства України в ЄС” 17-19 вересня 2019 року, м. Київ, Україна
30. ISO/TR 25107:2018 «Non-destructive testing – NDT training syllabuses» // Published in Switzerland. – 2018. – 108 p.