

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Навчально-науковий інститут аерокосмічних технологій
Кафедра авіа- та ракетобудування**

«На правах рукопису»
УДК 620.179; 544.77.0;
620.19.40

До захисту допущено:
В. о. завідувача кафедри
_____ Петро ЛУК'ЯНОВ
«__» _____ 2024 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

за освітньо-професійною програмою «Літаки і вертольоти»

зі спеціальності 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка»

на тему: «Діагностика дефектів авіаційних конструкцій»

Виконав :

студент II курсу другого (магістерського) рівня, групи АЛ-21мп
Сокол Д.В. _____

Керівник: Доцент кафедри, к. х. н., с. н. с., Казакевич Михайло
Леонідович _____

Рецензент: Доцент кафедри СКЛА, Комисаренко Олена Сергіївна

Засвідчую, що у цій
магістерській дисертації немає
запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2024 року

Національний технічний університет України
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Навчально-науковий інститут аерокосмічних технологій
Кафедра авіа- та ракетобудування

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)
Спеціальність – 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка»
Освітньо-професійна програма «Літаки і вертольоти»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В. о. завідувача кафедри

_____ **Петро ЛУК'ЯНОВ**

«__» _____ **2023 р.**

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Соколу Дмитру Володимировичу

1. Тема дисертації «Діагностика дефектів авіаційних конструкцій», науковий керівник дисертації доцент кафедри Казакевич Михайло Леонідович, к. х. н., с. н. с, затверджені наказом по університету від «__» _____ 2023 р. № _____
2. Термін подання студентом дисертації 26 грудня 2023 р.
3. Об'єкт дослідження: Дефекти авіаційних конструкцій.
4. Вихідні дані: Заклепувальні, болтові та ніпельні з'єднання, алюмінієві сплави, нержавіючі сталі, композитні матеріали.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити:
 - 5.1. Огляд існуючих методів неруйнівного контролю авіаційних конструкцій. Вибір методу діагностики дефектів авіаційних конструкцій.
 - 5.2. Елементи конструкції літака, що підлягають діагностиці. Класифікатор.
 - 5.3. Обґрунтування вибору технології сучасних методів контролю авіаційних конструкцій.
 - 5.4. Розробка Інструкції технологічного процесу сучасних методів контролю авіаційних конструкцій.
 - 5.5. Висновки та рекомендації щодо неруйнівної діагностики проникаючими речовинами дефектів авіаційних конструкцій.
 - 5.6. Розробка стартап-проекта.
6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу:
 - 6.1. Огляд існуючих методів неруйнівного контролю авіаційних конструкцій. Вибір методу діагностики дефектів авіаційних конструкцій.
 - 6.2. Елементи літака, що підлягають діагностиці на герметичність.

6.3. Результати експериментальних досліджень технології контролю проникаючими речовинами

6.4. Узагальнення результатів – Інструкція технологічного процесу сучасного контролю авіаційних конструкцій

7. Орієнтовний перелік публікацій

7.1. Доповідь на науково-технічній конференції з публікацією тез.

8. Дата видачі завдання 08.11. 2022 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Огляд існуючих методів неруйнівного контролю авіаційних конструкцій. Вибір методів діагностики дефектів авіаційних конструкцій.	до 22.12.2022 р.	
2.	Системи літака, що підлягають діагностиці проникності авіаційних конструкцій та систем. Мета та задачі дослідження.	до 01.02.2023 р.	
3.	Розвиток технології люмінесцентного капілярного методу контролю авіаційних конструкцій.	до 21.03.2023 р.	
4.	Розробка Інструкції технологічного процесу капілярного методу контролю авіаційних конструкцій.	до 03.06.2023 р.	
5.	Розробка системи діагностики стану конструкції літака, яка дозволяє фіксувати пошкодження внаслідок ударів	до 23.09.2023 р.	
6.	Висновки та рекомендації щодо неруйнвної діагностики проникаючими речовинами наскрізних дефектів авіаційних конструкцій.	до 27.10.2023 р.	
7.	Розробка стартап-проєкту. Оформлення пояснювальної записки та ілюстративного матеріалу. Попередній захист	до 05.12.2023 р.	
8.	Доопрацювання матеріалів дисертації.	до 26.12.2023 р.	
9.	Перевірка на плагіат	до 10.01.2024 р.	

Студент

Дмитро СОКОЛ

Науковий керівник

Михайло КАЗАКЕВИЧ

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація: «Діагностика дефектів авіаційних конструкцій»

Актуальність: Зростання об'ємів використання повітряного транспорту та постійна технічна складність літаків створюють великий тиск на забезпечення їхньої ефективності та безпеки. Діагностика дефектів у конструкціях літаків важлива для вчасного виявлення та усунення можливих проблем, що може запобігти аваріям та забезпечити стабільну експлуатацію авіаційної техніки. Вдосконалення методів діагностики дефектів сприяє підвищенню рівня безпеки авіаційного транспорту та забезпечує стале функціонування цієї стратегічно важливої галузі транспорту.

Мета роботи: Розробка методів і нових технічних засобів неруйнівного контролю та діагностики стану авіаційних конструкцій як виробів тривалої експлуатації.

- Розробка комбінованих методів неруйнівного контролю авіаційних конструкцій із використанням капілярного та магнітного контролю;
- Удосконалення люмінесцентного методу контролю авіаційних конструкцій;
- Розробка Інструкції технологічного процесу капілярного методу контролю авіаційних конструкцій

Об'єкт дослідження: Об'єкти авіаційної техніки, які за нормативними документами перевіряють в процесі експлуатації: лопатки турбін двигунів, паливні баки літака, фюзеляж, гідравлічні системи шасі, трубопроводи тощо – важливі елементи функціонування техніки. Дефекти авіаційних конструкцій.

Предмет дослідження: Капілярний люмінесцентний метод та комплексний люмінесцентно-магнітний метод

Методи дослідження: Візуальний огляд, Магнітний контроль, Капілярна та Магнітно-порошкова дефектоскопія

Наукова новизна одержаних результатів: Основна тема дисертації пов'язана з застосуванням люмінесцентного метода неруйнівного контролю (ЛМНК).

З метою розробки процесу технологічного контролю лопаток турбін авіаційних двигунів нами запропонована директивна «Технологічна інструкція» виявлення дефектів та корозії. На основі люмінесцентного неруйнівного контролю розроблено технологічний процес в умовах виробництва, який дає змогу виявляти найбільш небезпечні поверхневі дефекти, та «Заводська інструкція», яка впроваджується у ДП АНТОНОВ, Філія "Серійний завод "Антонов" Державного підприємства "Антонов".

Другий напрям –магніто-люмінесцентний варіант контролю. Розроблена перспективна технологія його використання в разі суміщення люмінесцентного пенетранта з магнітними наночастинками, які синтезують хімічно. Така комбінована суспензія відрізняється високою стабільністю і чутливістю та може бути використана як люмінесцентний магнітний пенетрант тривалого строку дії для широкого спектру матеріалів.

Таким чином з'явилась можливість забезпечити найбільш чутливий пошук поверхневих дефектів та перевірки відповідальних деталей кріплення лопаток двигунів.

Вперше застосовано люмінесцентний метод виявлення міст ударів літаків з птахами, внаслідок чого стає можливим процес експрес-виявлення візуальним обстеженням УФ-джерелом міст пошкодження авіаційних конструкцій, який використовує світіння механічних пошкоджень внаслідок люмінесценції фарбового покриття у місцях його порушення.

Практичне значення одержаних результатів: Значне покращення роботи персоналу та характеристик безпеки літального апарату з використанням методу неруйнівної діагностики проникаючими речовинами наскрізних дефектів авіаційних конструкцій.

Для вирішення таких задач було удосконалено методику виявлення дефектів порушення герметичності капілярним люмінесцентним методом. Заклепочні з'єднання в об'єктах контролю формують складну топологічну картину. Зіткнення повітряних суден із птахами, вплив ударів фрагментів ґрунтових покриттів під час зльоту або посадки літаків призводять до пошкодження конструкції літака та зниження її міцності, особливо деталей із композиційних матеріалів. Найбільш уразливі деталі конструкції, що зазнають удари птахів, це крило, зокрема, елементи системи керування польотом. Реалізація технічної діагностики у цьому випадку включає порушення спеціального індикаторного матеріалу у складі фарби за результата-том механічного удару. Люмінофор досягає пошкодженої поверхні та спостерігається в УФ-світлі.

Перспективним є також запропонований комплексний метод, який об'єднує магнітний метод та метод проникаючих речовин. Використання рідини із магнітними наночастинками та люмінесцентним пенетрантом підвищує чутливість методу проникаючих речовин у магнітному полі за причини виникнення додаткового капілярного ефекту під час діагностування конструкцій.

ABSTRACT

Master's thesis: "Diagnostics of defects in aircraft structures"

Relevance: The growth of air transport usage and the constant technical complexity of aircraft create great pressure to ensure their efficiency and safety. Diagnostics of defects in aircraft structures is important for timely detection and elimination of possible problems, which can prevent accidents and ensure stable operation of aircraft. Improving defect diagnosis methods contributes to the safety of air transport and ensures the sustainable operation of this strategically important transportation sector.

Objective: Development of methods and new technical means for non-destructive testing and diagnostics of aircraft structures as long-life products.

Development of combined methods of non-destructive testing of aircraft structures using capillary and magnetic inspection;

Improvement of the luminescent method of aircraft structures inspection;

Development of the Technological Process Instruction for the capillary method of aircraft structures inspection

Object of study: Objects of aviation equipment that are inspected in the course of operation according to regulatory documents: engine turbine blades, aircraft fuel tanks, fuselage, landing gear hydraulic systems, pipelines, etc. Defects in aircraft structures.

Subject of research: Capillary luminescence method and integrated luminescence-magnetic method

Research methods: Visual inspection, Magnetic inspection, Capillary and Magnetic Powder Flaw Detection

Scientific novelty of the results: The main topic of the dissertation is related to the use of the luminescent non-destructive testing method (LMNDT).

In order to develop the process of technological control of aircraft engine turbine blades, we have proposed a directive "Technological instruction" for detecting defects and corrosion. On the basis of luminescent non-destructive testing, we developed a technological process in production conditions, which allows detecting the most dangerous surface defects, and a "Factory Instruction", which is being implemented at the ANTONOV Company, Branch "Antonov Serial Plant" of the State Enterprise "Antonov".

The second direction is the magnetic-luminescent control option. A promising technology for its use has been developed in the case of combining a luminescent penetrant with magnetic nanoparticles that are synthesized chemically. Such a combined suspension is characterized by high stability and sensitivity and can be used as a long-lasting luminescent magnetic penetrant for a wide range of materials.

This makes it possible to provide the most sensitive search for surface defects and inspection of critical engine blade fasteners.

For the first time, a luminescent method for detecting aircraft bird strike bridges was applied, making it possible to rapidly detect aircraft structure damage bridges by visual inspection with a UV source, which uses the glow of mechanical damage due to the luminescence of paint coatings in places of its violation.

Practical significance of the results: Significant improvement of personnel work and aircraft safety characteristics using the method of non-destructive diagnostics of penetrating defects in aircraft structures.

To solve such problems, the methodology for detecting leakage defects using the capillary luminescence method was improved. Riveted joints in the objects under inspection form a complex topological picture. Aircraft collisions with birds, impacts of ground cover fragments during takeoff or landing lead to damage to the aircraft structure and reduce its strength, especially parts made of composite materials. The most vulnerable structural parts subject to bird strikes

are the wing, in particular, the elements of the flight control system. The implementation of technical diagnostics in this case involves the disruption of a special indicator material in the paint as a result of mechanical impact. The phosphor reaches the damaged surface and is observed in UV light.

The proposed integrated method combining the magnetic method and the method of penetrating substances is also promising. The use of a liquid with magnetic nanoparticles and a luminescent penetrant increases the sensitivity of the method of penetrating substances in a magnetic field due to the occurrence of an additional capillary effect during the diagnosis of structures.

ЗМІСТ

ВСТУП	12
1. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ АВІАЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙ	14
1.1.Нормативно-технічна документація методів та засобів неруйнівного контролю	14
1.2.Класифікація дефектів	18
1.3.Огляд існуючих методів неруйнівного контролю авіаційних конструкцій. Вибір методу діагностики дефектів авіаційних конструкцій	26
2.ЕЛЕМЕНТИ КОНСТРУКЦІЇ ЛІТАКА, ЩО ПІДЛЯГАЮТЬ ДІАГНОСТИЦІ. КЛАСИФІКАТОР.	35
3.РОЗВИТОК ТЕХНОЛОГІЇ ЛЮМІНЕСЦЕНТНОГО КАПЛЯРНОГО МЕТОДУ КОНТРОЛЮ КОНСТРУКЦІЙ.	38
3.1. Метод проникаючих речовин	38
3.2. Розробка системи діагностики стану конструкції літака, яка дозволяє фіксувати пошкодження внаслідок ударів	39
4.РОЗРОБКА МАГНІТНИХ ТА МАГНІТНО-ЛЮМІНЕСЦЕНТНИХ КОМПОЗИЦІЙ, ЩО ДОЗВОЛЯЄ ПІДВИЩИТИ ЧУТЛИВІСТЬ МЕТОДУ МАГНІТОПОРОШКОВОГО НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ	46

4.1. Випробування магнітно-люмінісцентної композиції в методі магнітнопорошкової дефектоскопії	47
4.2. Проникнення магнітно-люмінісцентної композиції в дефекти немагнітних матеріалів	50
5. РОЗРОБКА ІНСТРУКЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ АВІАЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙ	57
6. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЄКТУ	60
7. ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО НЕРУЙНІВНОЇ ДІАГНОСТИКИ ПРОНИКАЮЧИМИ РЕЧОВИНАМИ ДЕФЕКТІВ АВІАЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙ	70
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	73
ТЕХНОЛОГІЧНА ІНСТРУКЦІЯ	Додаток 1
ЗАВОДСЬКА ІНСТРУКЦІЯ	Додаток 2

ВСТУП

Безпека та надійність є визначальними факторами для досягнення успіху в авіаційній індустрії. Конструкції літальних апаратів, наприклад крила, шасі, фюзеляж та інші складові, піддаються значним навантаженням, починаючи з власної ваги, закінчуючи впливом зовнішнього середовища, включаючи повітряний тиск, вітер, вібрації та ударні навантаження. Через це навіть незначні дефекти в авіаційних конструкціях можуть призвести до аварії, тому їх виявлення є необхідною частиною роботи. У даній роботі розглядаються неруйнівні методи діагностики авіаційних конструкцій, зокрема, застосування сучасних методів контролю, які дозволяють проникати в речовини і отримувати інформацію про їхній внутрішній стан. Методи неруйнівного контролю є важливим засобом для забезпечення безпеки та надійності конструкцій шляхом запобігання аварій та виявлення дефектів в конструкціях, не пошкоджуючи їх. У цій роботі будуть описані методи контролю якості матеріалів, які не вимагають їх руйнування (методи неруйнівного контролю). Особлива увага буде приділена використанню проникаючих речовин для виявлення дефектів і підвищення точності контролю. Зокрема, питання про підвищення ефективності контролю дефектів шляхом застосування проникаючих речовин буде одним із пріоритетних завдань. У цій роботі також буде запропоновано шляхи покращення процесу неруйнівної діагностики, зокрема, за допомогою застосування новітніх технологій, підвищення кваліфікації персоналу та контролю за результатами. Дані рекомендації допоможуть зробити авіаційні системи більш безпечними та надійними. Саме це є необхідною умовою для забезпечення безпеки польотів, що є головним завданням авіаційної індустрії.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ АВІАЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙ

1.1 Нормативно-технічна документація методів та засобів неруйнівного контролю

Засоби неруйнівного контролю (ЗНК) повинні задовольняти загальним технічним вимогам :

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.

Основними з цих вимог є: дотримання принципів агрегатної побудови комплексів приладів, стандартизація й уніфікація засобів неруйнівного контролю.

До показників, що визначають якість, відносяться: область застосування, продуктивність, межі контрольованого параметра, стійкість до механічних і кліматичних впливів, час установки робочого режиму, середній час безвідмовної роботи, гарантійний термін, габаритні і установчі розміри, маса, конструктивні особливості виконання. Крім того, передбачені додаткові обов'язкові показники якості: чутливість, тобто менший розмір штучного дефекту в зразку, що виявляється приладом,

найменша різниця двох сусідніх значень контрольованого параметра; похибка.

Крім загальних вимог до неруйнівного контролю розроблені ДСТУ на технічні вимоги до дефектоскопів, засновані на використанні найбільш розповсюджених методів неруйнівного контролю

За умовами експлуатації, неруйнівний контроль розділяють на шість груп у залежності від робочої температури (ДСТУ EN 1330-1:2016 (EN 1330-1:2014, IDT Неруйнівний контроль. Термінологія. Частина 1. Перелік загальних термінів). Наприклад, прилади, віднесені до першої групи, призначені для роботи в інтервалі температур від + 50 до - 50 °С. По стійкості до механічних впливів неруйнівного контролю розрізняють звичайного і вібростійкого призначення.

В останні роки в нашій країні вводиться єдина система скорочених позначень неруйнівного контролю у залежності від виду, призначення приладу і ряду додаткових ознак. Позначення неруйнівного контролю складаються з п'яти індексів. Перший індекс вказує вид неруйнівного контролю, другий індекс — призначення приладу (дефектоскоп — «Д», товщиномір — «Т», вимірювач фізико-механічних властивостей — «Ф», структуроскоп — «С», прилади комплексного контролю — «К», прилади для візуалізації — «В», вимірники електромагнітних характеристик — «Е»).

При перевірці ЗНК, насамперед, визначається відповідність їх характеристик точності регламентованим значенням і придатність до застосування. Значення перевірки виходить далеко за рамки підприємства (організації), якому належать прилади неруйнівного контролю. Перевірка засобів вимірювання є, власне кажучи, однією з ланок передачі розміру фізичної величини від еталона до робочого засобу вимірів. Саме зв'язок з еталоном і є необхідною умовою повсюдного дотримання єдності вимірів.

Методи і ЗНК, що дозволяють визначити їхню придатність до застосування, встановлені в нормативно-технічній документації по

перевірці. Засоби неруйнівного контролю, призначені для загального застосування, перевіряються за ДСТУ чи методичними вказівкам Держстандарту. При перевірці неруйнівного контролю, призначеного для застосування в одному відомстві, при відсутності зазначених стандартів застосовуються відомчі методичні вказівки. При перевірці на не стандартизованих методах неруйнівного контролю (МНК), виготовлених і застосовуваних на одному підприємстві, документами по перевірці є методичні вказівки, розроблені на цьому підприємстві. Відомчі методичні вказівки і методичні вказівки підприємства по перевірці розробляються тільки в тому випадку, якщо прилади неруйнівного контролю що перевіряються забезпечені засобами перевірки.

У нормативно-технічній документації на МНК і засоби перевірки неруйнівного контролю звичайно, крім вступної частини, знаходяться наступні розділи: операції перевірки, засоби перевірки, умови перевірки, підготовка до перевірки, проведення перевірки, обробка результатів спостережень і оформлення результатів перевірки. В окремих випадках деякі з цих розділів виключаються чи поєднуються.

В вступній частині нормативно-технічної документації обов'язково вказується, на які види неруйнівного контролю вони поширюються, викладаються їхні нормативно-технічні характеристики: номери, що поширюються на дані неруйнівного контролю, основні метрологічні параметри (діапазони вимірів, оцінки похибки і т.п.). Операції перевірки вказуються в тій послідовності, у якій найбільше доцільно їх виконувати.

У нормативно-технічній документації міститься також перелік необхідних для проведення перевірки еталонних і допоміжних засобів перевірки. Форма переліку засобів перевірки залежить від їхньої кількості, від того, чи призначені вони для проведення однієї чи декількох операцій, зручності запису їхніх нормативно-технічних характеристик. Вона може

бути у виді таблиці, що складається з двох граф: «Найменування засобів перевірки» і «Нормативно-технічні характеристики» чи у вигляді переліку.

У нормативно-технічній документації на ЗНК і МНК перевірки вказуються номінальні значення величин, що впливають, і межі їхніх нормальних областей. Під фізичною величиною, що впливає, розуміється величина, не вимірювана даним засобом вимірів і не впливова на результати вимірів, тобто на його метрологічні характеристики. До величин, що впливають, звичайно, відносяться температура, вологість і тиск навколишнього повітря, частота і напруга струму живлення, вміст у ньому гармонік, вібрація і тряска, магнітні й електромагнітні поля і т.д.

При зовнішньому огляді перевіряються відповідність його комплектувальної відомості. Потім — наявність маркування, напису про призначення кожного затискача і перемикача, позначень на шкалах класів точності й одиниць фізичних величин, а також, ціна розподілів відлікових пристроїв, дефекти елементів неруйнівного контролю та їх покриття, при наявності яких по технічних вимогах контролю не може бути допущене до використання і т.п.

Після зовнішнього огляду здійснюють випробування неруйнівного контролю, при якому, як правило, використовуються стандартні зразки. Випробування загалом складається з перевірки дії органів керування, регулювання, настроювання і корекції й встановлення показчиків на нуль при включенні і вимиканні живлення. Перевіряють також вільне переміщення, фіксацію чи взаємодію окремих елементів, роботу освітлювальних пристроїв, якість зображення; наявність люфтів, твердість окремих елементів, працездатності неруйнівного контролю. У більшості випадків, при перевірці необхідно ввести запис результатів спостережень у виді протоколу. Як правило, у нормативно-технічній документації наводиться форма протоколу.

1.2 Класифікація дефектів

З метою вибору оптимальних методів і параметрів контролю проводиться класифікація дефектів за різними ознаками: за розмірами дефектів, за їх кількістю і формою, за місцем розташування дефектів в контрольованому об'єкті і т.д. Розміри дефектів можуть змінюватися від часток міліметрів до яких завгодно великий величини. Практично розміри дефектів лежать в межах $0,001 \text{ мм} < a < 1 \text{ см}$.

Основними елементами конструкцій є зварні шви, працездатність яких визначається наявністю в них дефектів. Всі дефекти розрізняють за такими чотирма ознаками: розташування, форма, розмір, кількість. (рис. 1.1)

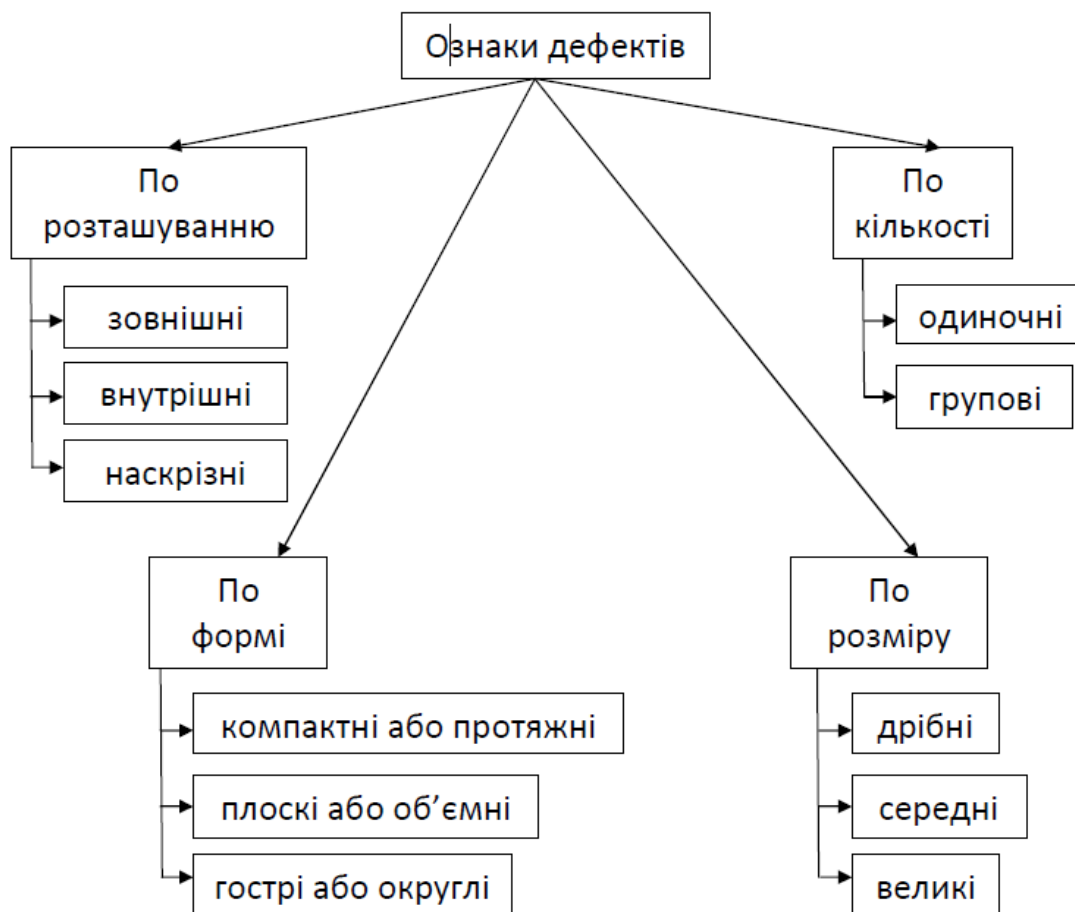


Рисунок 1.1 - Ознаки дефектів

При кількісній класифікації дефектів розрізняють три випадки): а – одиночні дефекти, б – групові дефекти, в – суцільні дефекти (зазвичай у вигляді газових міхурів і шлакових включень в металах).

При класифікації дефектів за формою розрізняють три основних випадки: а – дефекти правильної форми, овальні, близькі до циліндричної або сферичної форми, без гострих країв; б – дефекти з гострими краями; в – дефекти в довільній, невизначеної формі, з гострими краями - тріщини, розриви, сторонні включення .

Форма дефекту визначає його небезпеку з точки зору руйнування конструкції. Дефекти правильної форми, без гострих країв, найменш небезпечні, тому навколо них не відбувається концентрації напружень. Дефекти з гострими краями, є концентраторами напружень. Ці дефекти збільшуються у процесі експлуатації виробу по лініях концентрації механічних напруг, що у свою чергу, призводить до руйнування виробу.

При класифікації дефектів за положенням розрізняють чотири випадки: а – поверхневі дефекти, розташовані на поверхні матеріалу, напівфабрикату або виробу, – це тріщини, вм'ятини, сторонні включення; б – підповерхневі дефекти – це дефекти, розташовані під поверхнею контрольованого виробу, але поблизу самої поверхні; в – об'ємні дефекти – це дефекти, розташовані всередині виробу. Наявність фосфевидних і нітрідних включень і прошарків може призвести до утворення дефектів четвертого виду – наскрізних.

За формою поперечного перерізу наскрізні дефекти бувають круглі (пори, свищі, шлакові включення) і щілиновидні (тріщини, не провари, дефекти структури, несцільності в місцях розташування оксидних та інших включень і прошарків).

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 класи чутливості (по нижньому порогу) в залежності від розмірів дефектів (Табл.1.1).

Таблиця 1.1 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 люмінесцентного капілярного контролю дозволяє виявляти поверхневі дефекти з розкриттям **0,5-1 мкм** незалежно від їх типу, матеріалу конструкцій та конфігурації поверхні. Капілярний метод неруйнівного контролю є **ефективним тільки тоді, коли дефект виходить на поверхню.**

Класифікація дефектів за положенням в контрольованому об'єкті: а – поверхневі; б – під поверхневі; в – об'ємні.

За характером внутрішньої поверхні наскрізні дефекти підрозділяються на гладкі і шорсткі. Внутрішня поверхня тріщин, непроварів і вторинних парових каналів, як правило, шорстка.

Положення дефекту впливає як на вибір методу контролю, так і на його параметри.

Небезпека впливу дефектів на працездатність залежить від їх виду, типу та кількості. Класифікація можливих дефектів у виробі дозволяє правильно вибрати метод і засіб контролю.

Характеристика контрольованих параметрів та дефектів

У процесі виготовлення кожна деталь проходить свій технологічний цикл. У самому загальному випадку він може включати, наступні основні операції: лиття, обробка тиском, термічна обробка, механічна обробка, з'єднання металів, наприклад, шляхом зварювання. Готові вироби експлуатуються або зберігаються. При цьому на всіх перерахованих етапах механічні та фізико-структурні характеристики матеріалу зазнають змін, і в тому числі можуть з'явитися дефекти, які роблять деталь непридатною до експлуатації. Дефекти повинні бути виявлені своєчасно, а дефектна деталь – забракована.

Група	Параметри і дефекти
I	Дефекти типу порушення суцільності: раковини, тріщини, розшарування, пори та ін
II	Відхилення параметрів – довжини, ширини, висоти, діаметра, товщини стінки, а також товщини покриття та глибини поверхневого слою (загартованого, знеуглецьованого і т.п.)
III	Питома електрична провідність, магнітна проникність, залишкова індукція, твердість, вологість, напруга, структура, хімічний склад, межа міцності, межа текучості, щільність та ін.
IV	Емісія хвиль напруги, розвиток тріщин у часі, збільшення напруг, збільшення зазору та ін..

Таблиця 1.2 – Класифікація контрольованих параметрів та дефектів

Вибір методу і засобу неруйнівного контролю для рішення завдань дефектоскопії та технічної діагностики залежить від параметрів контрольованого об'єкта та умов його обстеження. Жоден з методів і приладів не є універсальним і не може задовольнити в повному обсязі вимоги практики. У відповідності з призначенням приладів, вимірювані параметри і дефекти поділяють на чотири групи (табл. 1.2).

I Дефекти типу порушення суцільності: раковини, тріщини, розшарування, пори та ін

II Відхилення параметрів – довжини, ширини, висоти, діаметра, товщини стінки, а також товщини покриття та глибини поверхневого слою (загартованого, знеуглецьованого і т.п.)

III Питома електрична провідність, магнітна проникність, залишкова індукція, твердість, вологість, напруга, структура, хімічний склад, межа міцності, межа текучості, щільність та ін.

IV Емісія хвиль напруги, розвиток тріщин у часі, збільшення напруг, збільшення зазору та ін..

Дефекти поділяють на явні і приховані, а також критичні, значні і малозначні. Такий поділ дефектів проводять для подальшого вибору виду контролю якості продукції (вибірковий або суцільний). При будь-якому методі контролю про дефекти судять за непрямими ознаками (характеристикам), властивим даному методу. Деякі з цих ознак піддаються вимірюванню. Результати вимірювання характеризують виявлені дефекти і використовуються для їх класифікації.

Дефекти типу порушень суцільності металу є наслідком недосконалості його структури і виникають на різних стадіях технологічного процесу. До дефектів тонкої структури відносять дислокації – особливі зони спотворень

атомної решітки. Міцність деталей різко падає при певному числі дислокацій в одиниці об'єму кристала.

Субмікроскопічні тріщини (розміром близько декількох мікрометрів) утворюються в процесі оброблення деталі (наприклад, шліфування) і різко знижують її міцність, особливо при роботі в умовах складного напруженого стану або впливу поверхнево-активних середовищ. Якщо пошкоджений поверхневий шар видалити, наприклад шляхом електролітичного розчинення, то міцність деталі істотно підвищується. Найбільш грубими дефектами є макроскопічні, у ряді випадків видимі неозброєним оком дефекти, що є порушеннями суцільності або однорідності матеріалу, особливо різко знижують міцність деталі. Ці дефекти утворюються в металі внаслідок недосконалості технологічного процесу і низькою технологічністю багатокomпонентних сплавів, при обробці яких потрібно особливо точно дотримуватися режимів технологічного процесу на кожному етапі.

В металевих виробках і напівфабрикатах дефекти розрізняють за розмірами і розташуванню, а також за природою їх походження. Вони можуть утворитися в процесі:

- плавки і лиття (раковини, пори, включення, гарячі тріщини і т.д.);
- обробки тиском (внутрішні та поверхневі тріщини, розшарування, флокени і т.д.);
- термічної і хіміко-термічної обробки (перегріву, термічні тріщини, невідповідність заданому значенню товщини загартованого, а також товщини шару гальванічного покриття і т.д.);
- механічної обробки (шліфувальні тріщини, прожоги);
- зварювання, пайки, склеювання;
- зберігання і експлуатації.

Для зазначених дефектів характерна одна загальна ознака: вони викликають зміну фізичних характеристик матеріалу, таких як питома електрична

провідність, магнітна проникність, коефіцієнт загасання пружних коливань, щільність, коефіцієнт ослаблення випромінювань і т.д.

Вплив дефектів на стан конструкції при її експлуатації

Наявність дефектів не означає, що конструкція стає непридатною. Для оцінки впливу дефекту, наприклад на зварне з'єднання, використовують конструктивні та експлуатаційні фактори. Проте такі фактори розділити дуже важко, і тому використовують узагальнені поняття конструктивно-експлуатаційних факторів.

При встановленні норм дефектності для зварних з'єднань, які працюють під навантаженням, необхідно виявити їх вплив на механічні властивості з'єднання. При статичному навантаженні основною властивістю є міцність. Встановлення норм дефектності проходить по результатам механічних випробувань, аналізу зламів та металографії зварних з'єднань. По підсумкам проведених досліджень будується кореляційна залежність між геометричними характеристиками та міцністю з'єднання.

Вплив дефектів також залежить від їх форми. Найбільш небезпечними є тріщини, непровари та подрізи, менш небезпечні - пори. Дефекти із гострими контурами можуть викликати крихкі руйнування навіть при статичних навантаженнях.

Після ряду досліджень було встановлено, що пори та включення які мають сумарну площу в перерізі шва до 5-10%, практично дуже мало впливають на міцність з'єднань. Для окремих видів з'єднань безпечна величина ослаблення перерізу стикового шва дефектами при статичному навантаженні може досягати 10-30%

При динамічних та вібраційних навантаженнях небезпеку для зварних швів несуть такі дефекти, як подрізи і тріщини. Втрату роботоспроможності може призвести дефект дуже малого розміру. Їх вплив посилюється наявністю залишкового водню в металі шва. Через це зварні з'єднання конструкцій, що

працюють в умовах динамічної дії, слід виконувати зварювальними матеріалами, що забезпечують низький вміст водню в металі шва.

Також на межу витривалості негативно впливає наявність поля розтягуючих залишкових напружень. Ці напруження підсилюють небезпеку до утворення деформацій, яку створюють дефекти, що знаходяться в зварному шві.

Об'ємні дефекти відносно безпечні по відношенню до втрати роботоспроможності з'єднань. За ДСТУ EN ISO 3452-3:2014 – це малозначимі дефекти. Тріщиноподібні - дуже небезпечні і вважаються критичними. Ці дефекти, як правило, неприпустимі.

Наприклад, в авіаконструкціях актуальним є технічна діагностика болтів (шпильок) кріплення лопаті гвинта до фланцу, які контролюються магніто-порошковим люмінесцентним методом (Рис. 1.2).

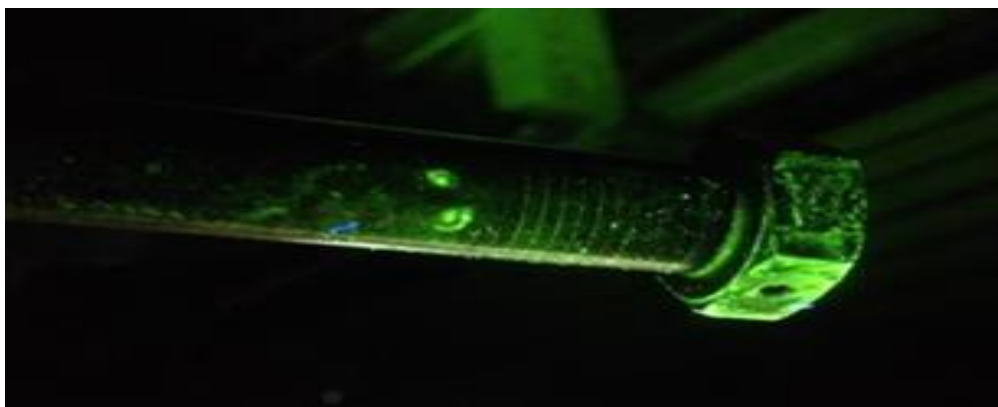
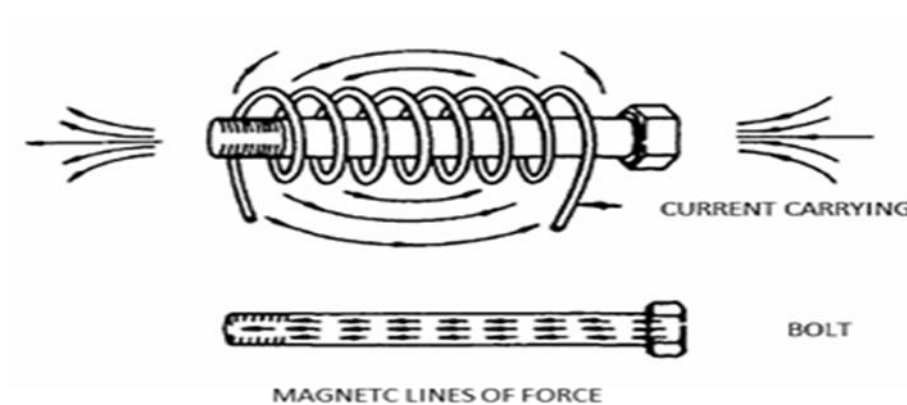


Рис. 1.2 Виявлений дефект різьблення шпильки магніто-люмінесцентним методом

1.3 Огляд існуючих методів неруйнівного контролю авіаційних конструкцій. Вибір методу діагностики дефектів авіаційних конструкцій

Неруйнівний контроль (НК) авіаційних конструкцій є критично важливим аспектом забезпечення безпеки у авіації. Він допомагає виявляти потенційні дефекти та пошкодження. Ось огляд деяких існуючих методів неруйнівного контролю авіаційних конструкцій:

1.3.1 Поверхневі методи неруйнівного контролю

Візуальний контроль – це процес оцінки або перевірки об'єкта чи системи за допомогою зорового сприйняття.

Основні принципи візуального контролю включають наступне:

- **Спостереження:** огляд об'єкта з метою виявлення дефектів, аномалій або невідповідностей.
- **Оцінка:** аналіз отриманої інформації для визначення стану об'єкта і визначення, чи він відповідає вимогам і стандартам.
- **Документація:** фіксація результатів візуального контролю для подальшого аналізу і звітування.

Візуальний контроль може включати в себе використання різних інструментів і технологій, таких як лупи, біноклярні мікроскопи, фотографію, відеозйомку, інфрачервоний або ультрафіолетовий світло, а також спеціальне програмне забезпечення для аналізу зображень.

Візуальний контроль дуже важливий у багатьох галузях, де необхідно забезпечити якість продукції або безпеку систем. Він допомагає вчасно

виявляти дефекти і відхилення, що дозволяє виправити їх або вилучити ненадійні об'єкти з експлуатації.

Тактильний контроль - це метод контролю, який використовує дотик і відчуття для оцінки об'єктів або матеріалів. Цей метод може бути використаний для виявлення дефектів, визначення текстури, розміру, твердості, температури і інших властивостей об'єктів. Тактильний контроль важливий в багатьох галузях, включаючи медицину, інженерію, виробництво і мистецтво.

Основні аспекти тактильного контролю включають наступне:

- **Дотик:** Основна ідея тактильного контролю - це взаємодія з об'єктом за допомогою дотику. Людина використовує руки або інші частини тіла для відчуття поверхні об'єкта.
- **Оцінка текстури:** Тактильний контроль дозволяє визначити текстуру поверхні, включаючи гладкість, шорсткість, нерівності, якість обробки і інші характеристики.
- **Виявлення дефектів:** Важливим аспектом тактильного контролю є можливість виявлення дефектів, таких як тріщини, подряпини, виступи або ямки на поверхні об'єкта.
- **Визначення властивостей матеріалів:** Тактильний контроль може бути використаний для визначення твердості, гнучкості, температури і інших фізичних властивостей матеріалу.

Ультразвуковий контроль - це метод неруйнівного контролю, який використовує високочастотні звукові хвилі (ультразвук) для виявлення дефектів, вимірювання товщини матеріалів та оцінки внутрішньої структури об'єктів. УЗК широко застосовується в промисловості,

будівництві, медицині і інших галузях для якісного контролю матеріалів і структур.

Основні принципи ультразвукового контролю включають наступне:

- Висилання ультразвукових хвиль: УЗК використовує спеціальні трансдюсери (перетворювачі), які генерують ультразвукові хвилі і випромінюють їх в об'єкт контролю.
- Проходження хвиль через матеріал: Ультразвукові хвилі проникають в матеріал і відбиваються від внутрішніх інтерфейсів, таких як дефекти або границі між шарами матеріалу.
- Приймання і аналіз відбитих сигналів: Трансдюсер також функціонує як приймач, реєструючи відбиті ультразвукові сигнали. Зміни в часі приходу цих сигналів можуть вказувати на розмір, форму та глибину дефектів.
- Обробка і візуалізація даних: Отримані дані піддаються обробці, і їх можна відобразити на екрані в реальному часі у вигляді зображень (Аскан) або графіків (Вскан).
- Оцінка і аналіз: Спеціалісти визначають характеристики дефектів, включаючи їх розмір, тип, глибину та вплив на інтегритет матеріалу.

УЗК використовується для різних завдань, включаючи:

- Виявлення тріщин, пазирів, включень і інших дефектів в металевих і неметалевих матеріалах.
- Вимірювання товщини стінок труб, контейнерів, баків і інших об'єктів.
- Визначення матеріалознавчих властивостей матеріалів.

УЗК є надійним і дуже корисним інструментом для контролю і діагностики різних матеріалів і конструкцій, оскільки він дозволяє виявити проблеми без пошкодження об'єкта контролю і забезпечує високу чутливість до дефектів.

Магнітний контроль - це неруйнівний метод контролю, який використовує магнітні поля для виявлення дефектів або невідповідностей в металевих матеріалах і сплавах. Він дозволяє виявити потенційно небезпечні дефекти, які можуть призвести до витoku рідини, розриву конструкції або інших аварійних ситуацій, і тим самим сприяє забезпеченню безпеки і надійності об'єктів.

Основні принципи магнітного контролю включають в себе наступне:

- Створення магнітного поля: Спеціальні магніти або електромагніти створюють магнітне поле, яке проникає в металевий об'єкт.
- Дефект виявляється: Якщо в матеріалі є дефект, такий як тріщина, шва, корозія або інша невідповідність, воно може впливати на магнітне поле, змінюючи його конфігурацію або магнітні властивості в околицях дефекту.
- Виявлення змін: Спеціаліст або контрольний прилад виявляє зміни в магнітному полі, які свідчать про наявність дефекту.
- Оцінка і аналіз: Дефект оцінюється щодо розміру, форми, глибини і характеру, і робиться висновок щодо його прийнятності в межах встановлених стандартів.

Пенетрантні методи, також відомі як методи капілярного неруйнівного контролю, це група методів, які використовують капілярні явища для виявлення дефектів і невідповідностей на поверхні матеріалів. Ці методи часто застосовуються для виявлення тріщин, порожнеч, включень, швів і інших поверхневих аномалій. Основні пенетрантні методи включають в себе:

Магнітні пенетрантні методи (МПМ): У цих методах використовуються магнітні поля для приведення пенетранту (рідини або пасти) в контакт з поверхнею об'єкта. Пенетрант потім проникає в тріщини і порожнечі, а після цього відтягується за допомогою магнітного поля. Після цього об'єкт обробляється реагентом, який виділяється з тріщин та інших дефектів і робить їх видимими для огляду.

Колірні пенетрантні методи (КПМ): У цих методах пенетрант містить барвник, який виділяється з дефектів під час процедури. Після змивання надлишкового пенетранту та видалення фону, дефекти залишаються видимими завдяки вибраному кольоровому барвнику.

Флуоресцентні пенетрантні методи: В цих методах пенетрант містить флуоресцентний барвник. Після процедури надлишковий пенетрант видаляється, а потім об'єкт освітлюється ультрафіолетовим (УФ) світлом. Дефекти, які вбирають флуоресцентне УФ-світло, стають видимими в темряві, що дозволяє їх виявити (Рис 1.3).



Рис.1.3 Ілюстрація виявлення тріщин люмінісцентним пенетрантом в ультрафіолетовому випроміненні на зразку-еталоні (дефекти від 50 до 5 мкм). *(Експеримент автора магістерської дисертації)*

Аерозольні пенетрантні методи: У цих методах пенетрант розпилюється в аерозольній формі на поверхню об'єкта. Далі, пенетрант проникає в дефекти, і їх потім можна виявити за допомогою освітлення або змивання надлишкового пенетранту.

Електростатичні пенетрантні методи: В цих методах пенетрант заряджається електростатично та притягується до поверхні об'єкта. Після видалення надлишкового пенетранту, дефекти можна виявити за допомогою освітлення або змивання.

Ці методи використовуються як окремо, так і в комбінації в залежності від вимог конкретних завдань та типу матеріалів. Важливо зазначити, що технології неруйнівного контролю постійно еволюціонують для забезпечення більш ефективного та точного виявлення дефектів у авіаційних конструкціях.

Прикладом комплексному підходу до розвитку ефективності капілярних методів НК є застосування магнітної суспензії з вуглецевими наночастинками для магнітопорошкової дефектоскопії (Рис. 1.4).



Рис. 1.4 - Зразку з тріщиною у вигляді кола, його покривали аерозольним нанесенням прозорою суспензією з наночастинками вуглецю.
(Експеримент автора магістерської дисертації)

1.3.2 Магнітопорошковий метод неруйнівного контролю (МНК)

Виходячи з фізичних параметрів та властивостей підводних конструкцій, неруйнівний контроль будемо проводити магнітопорошковим методом.

МНК застосовуються тільки для контролю деталей та виробів, виготовлених з феромагнітних матеріалів, що знаходяться у намагніченому стані. МНК засновані на реєстрації магнітних полів розсіювання, що виникають над дефектами, тому ці методи дозволяють визначати тільки поверхневі і підповерхневі дефекти, що залягають у феромагнетиках на глибинах, що не перевищують 15 мм.

Дефекти найбільш легко виявляються, коли напрямок намагнічування контрольованої деталі перпендикулярний напрямку дефекту. Для оптимального виявлення дефектів при МНК намагнічування контрольованих виробів проводять у двох напрямках, а деталей складної форми – в декількох напрямках.

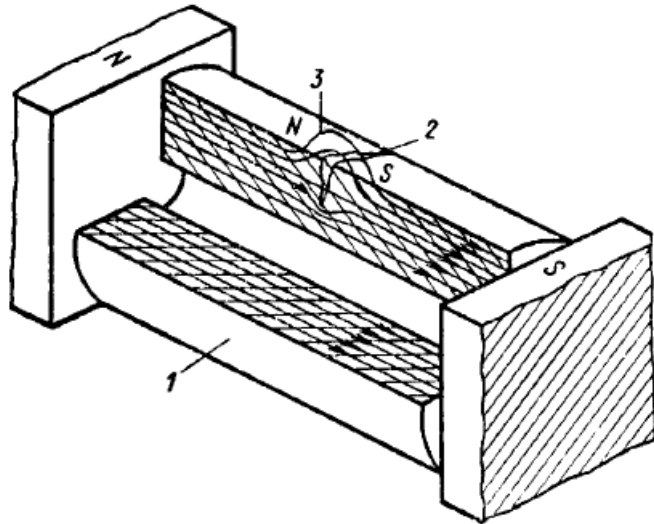


Рис. 1.5 – Схема утворення магнітного поля над дефектом

На рис. 1.5 наведена схема утворення магнітного поля над дефектом. Контрольована деталь 1 з тріщиною 2 розміщена між полюсами NS постійного магніту. Над тріщиною виникає магнітне поле розсіювання 3, еквівалентне маленькому магніту з полюсами NS.

Після намагнічування виробу здійснюється прояв дефектів, яке полягає у фіксуванні магнітного поля над дефектом магнітопорошковим методом. При цьому контроль (виявлення) дефектів здійснюється двома способами :

1. Контроль дефектів на залишкової намагніченості контрольованого виробу, придатний тільки для магнітотвердих матеріалів з коерцитивної силою H_c більше 800 А/м. У цьому випадку прояв дефектів здійснюється після намагнічування контрольованого виробу та видалення його з намагнічуючого поля.

2. Контроль дефектів у доданому магнітному полі, який застосовується для магнітом'яких матеріалів, у яких коерцитивна сила $H_c < 800$ А/м. У цьому випадку прояв дефектів здійснюється після намагнічування контрольованого виробу без його видалення з намагнічуючого поля, т. к. без прикладеного зовнішнього магнітного поля над дефектами утворюються слабкі магнітні поля розсіювання, що не дозволяють виявити

дефект. Цим способом контролюють деталі складної форми, а також у тому випадку, коли потужності джерела живлення недостатньо для намагнічування всієї деталі внаслідок її великих розмірів; в доданому магнітному полі робоча індукція поля досягається при майже в чотири рази меншою напруженості магнітного поля. Після МНК обов'язково проводиться розмагнічування проконтрольованого виробу.

Висновок по розділу 1

В результаті обґрунтування методів неруйнівного контролю конструкцій та всебічного дослідження літературних джерел встановлено, що є потреба у використанні новітніх дефектоскопічних матеріалів на основі сучасних досягнень науки та техніки.

РОЗДІЛ 2. ЕЛЕМЕНТИ КОНСТРУКЦІЇ ЛІТАКА, ЩО ПІДЛЯГАЮТЬ ДІАГНОСТИЦІ. КЛАСИФІКАТОР

Діагностика авіаційних конструкцій включає в себе обстеження різних елементів літака з метою виявлення потенційних дефектів. Ці елементи можна класифікувати наступним чином:

1. Поверхневі елементи:
 - Передня і задня обрізки крил.
 - Вертикальний і горизонтальний стабілізатори.
 - Корпус літака (фюзеляж).
2. Крила:
 - Крилова структура.
 - Крилові закінчення та кріплення планеронів.
 - Закріплення крила до фюзеляжу.
3. Хвости та стабілізатори:
 - Загони та кріплення хвоста.
 - Горизонтальний та вертикальний стабілізатори.
4. Літакове обладнання:
 - Двигуни та лопатки турбін
 - Тримачі двигунів.
 - Шасі та колеса.
5. Системи і кріплення:
 - Елементи системи керування.
 - Кріплення обладнання (кабельні барабани, кронштейни тощо).
6. Внутрішні структури:
 - Каркаси та ферми.
 - Піддони, які внутрішньо підтримують конструкцію.
7. З'єднання та шви:
 - Зварні шви, болти, болтові з'єднання, різьбові з'єднання.
8. Композитні матеріали:
 - Діагностика специфічних дефектів, які можуть виникати в композитних конструкціях.



Рис. 2.1 Бак-кесон

Ця класифікація допомагає фахівцям у виборі та використанні відповідних методів неруйнівного контролю для кожного типу елементу літака. Регулярна діагностика цих елементів допомагає підтримувати високий ступінь безпеки та надійності авіаційних систем.

Характерні дефекти лопаток турбіни

(тріщини, забоїни, подряпини, риски, сліди зносу, корозія)

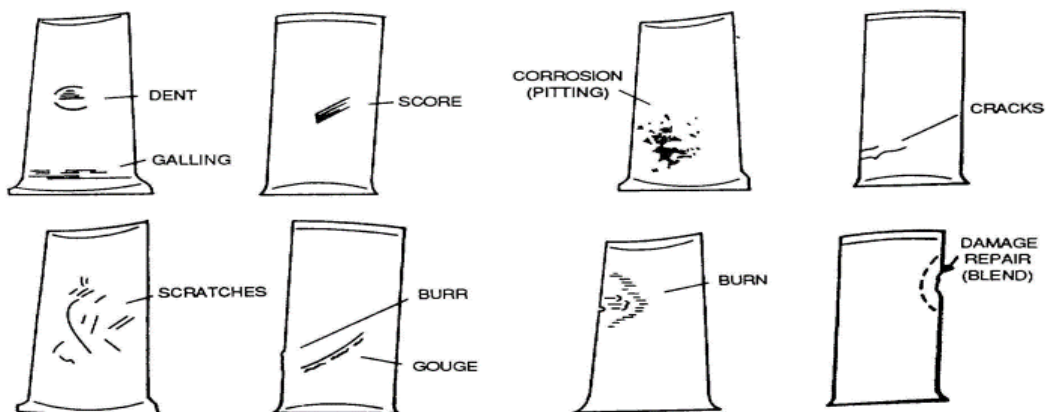


Рис. 2.2 - Характерні дефекти лопаток турбіни

Дефектоскопія окремих конструкцій

- Робочі лопатки турбіни працюють при високих температурах, зазнають великі вібраційні і температурні напруження.
- Вони піддаються одночасно корозійній і ерозійній дії газів.
- Більшість руйнувань робочих лопаток турбін мають втомний характер і пов'язані зі змінними напруженнями, що виникають при коливаннях по нижчим формам(які можуть викликатися в тому числі пульсаційним горінням палива в камері згорання).
- При коливаннях по першій згинальній формі можливе також розтріскування и втомні руйнування хвостовиків лопаток. В числі випадків пошкодження лопаток турбін (особливо перших ступеней) можуть бути пояснені особливостями розподілення температури газу на виході з камери згорання.
- У режимі інтенсивних навантажень саме тріщини на поверхні лопаток є відомою небезпекою.

РОЗДІЛ 3. РОЗВИТОК ТЕХНОЛОГІЇ ЛЮМІНЕСЦЕНТНОГО КАПІЛЯРНОГО МЕТОДУ КОНТРОЛЮ АВІАЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙ

3.1 Метод проникаючих речовин

Пенетратний метод, відомий також як метод проникаючих речовин 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,

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

Яскравим прикладом проникаючих методів є люмінесцентна дефектоскопія яка дозволяє виявляти за допомогою флуоресціюючих розчинів невидимі неозброєним оком поверхневі дефекти на деталях, зварених з кольорових металів і сплавів, пластмас, сталей аустенітного класу, твердих сплавів і інших матеріалів.

Сутність методу полягає в тому, що на контрольовану поверхню наноситься флуоресціюча рідина, що добре проникає в усі тріщини, пори й інші поверхневі дефекти. Після видалення надлишку її з поверхні при

висвітленні ультрафіолетовими променями встановлюється дефект по інтенсивному світінню розчину Чутливість цього методу дуже висока. Він дозволяє виявляти дефекти шириною до 0,1 мкм і глибиною до 0,03-0,04 мм.(Рис. 3.1.)

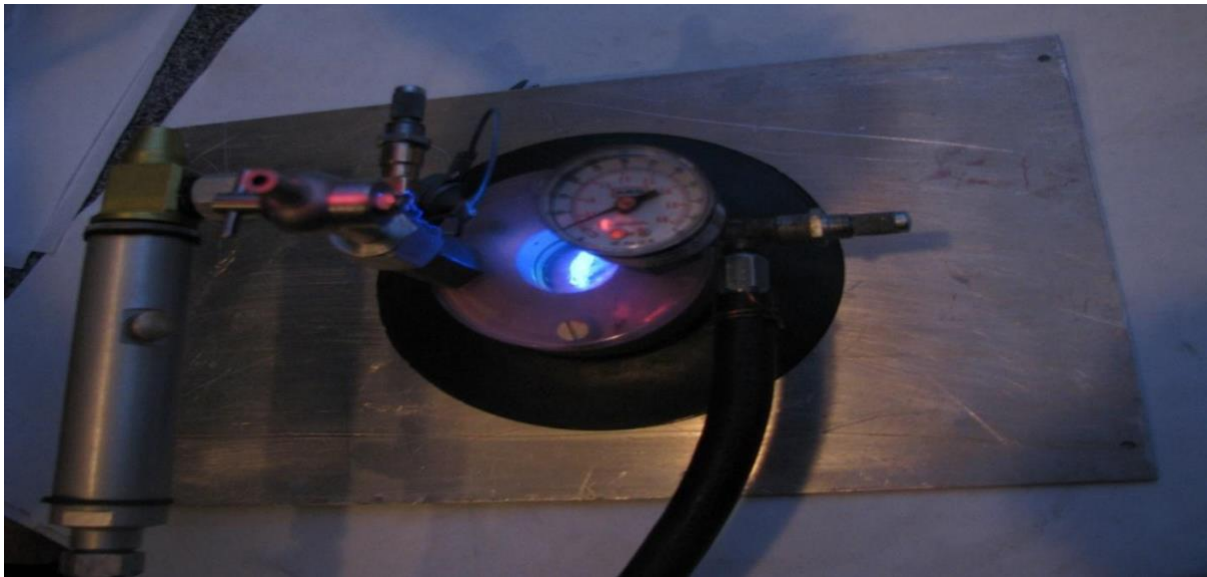


Рис. 3.1 - Застосування люмінесцентного пенетранта. Для уточнення місця течі застосовують вакуумний присмоктувач, який виявляє дефект при УФ освітленні

3.2 Розробка системи діагностики стану конструкції літака, яка дозволяє фіксувати пошкодження внаслідок ударів

Тестування дефектів, що виникають унаслідок ударів птахів і ґрунтового покриття по обшивці літака

Після аналізу зіткнень повітряних суден із птахами або впливу фрагментів ґрунтових покриттів було виявлено, що під час злетів або посадки літаків відбувається максимальна кількість аварій (82%). Сучасні великовагові літаки мають велику площу елементів управління. Це не дає змоги реалізувати неруйнівний контроль повітряного судна між польотами.

На рис. 3.2 показано найуразливіші деталі конструкції АН-124, що зазнала удару птахів (1) і топологію течі в баку-кесоні (2).

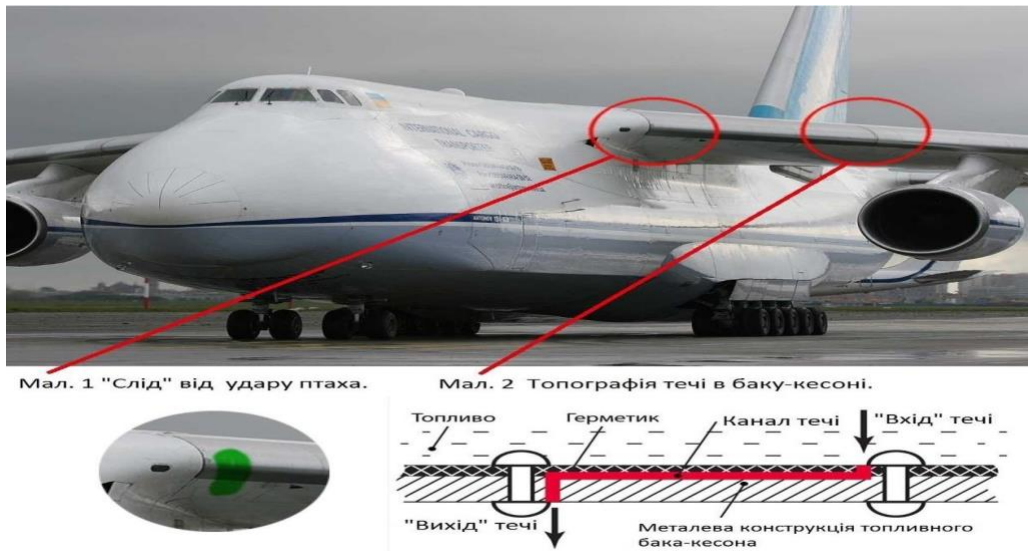


Рис. 3.2 - Найуразливіші деталі конструкції АН-124

Технологія виявлення механічних пошкоджень в поверхневих шарах авіаконструкцій :

В результаті аналізу відомих методів визначення місць розташування залишкових деформацій обшивки авіатехніки внаслідок механічних ударів було прийнято рішення про застосування у цій роботі як основного «методу крихких покриттів». Розроблена наступна схема підготовки зразків та аналізу руйнування лако-фарбових захисних матеріалів і визначення місць розташування деформацій:

- нанесення захисних лако-фарбових покриттів (ЛФП) по стандартній схемі до передостаннього шару,
- нанесення передостаннього шару, модифікованого люмінофором,
- сушка зразка,
- фарбування останнім шаром ЛФП з подальшою сушкою зразка,

- випробування ЛФП за допомогою установки «Константа 1А»,
- спостереження зони удару в ультрафіолетовому світлі.

В якості основного лако-фарбового покриття була обрана поліуретанова емаль УР-1176, виготовлена за ТУ 6-10-1810-81. Емаль застосовується в авіації для захисту алюмінієвих і сталевих деталей і має такі властивості:

- вміст нелетючих, % - 65-71,
- вихідна в'язкість по ВЗ4, сек. - 30-50,
- ступінь перетирання, мкм -25,
- режим затвердіння при 20⁰, ч. - 20,
- міцність плівки при ударі, кг/см -50,
- міцність при згині, по ШГ-2, мм - 1.

Для модифікації передостаннього шару ЛФП люмінофором нами запропоновано три методики:

Модифікація люмінесцентним пенетрантом ЛЖ-6Ам (ТУ У 21585720-049-99) в якому розчинений люмінофор (люмінор 490РТ жовто-зелений) в кількості 1,0 % по масі.

Модифікація шляхом приготування емульсійної фарби з мікрокапсулами розміром 5-10 мкм на основі штатного поліуретанового покриття із застосуванням етиленгліколевого-водного розчину люмінофора.

Введення в штатну поліуретанову фарбу твердих частинок люмінофора «флуоресцеина» розміром 1-3 мкм.

РЕЗУЛЬТАТИ

1. У зв'язку з тим, що при виявленні місць удару як підкладку використовують поліуретанову емаль, що містить люмінофор, метод крихких покриттів не може бути використаний в стандартному вигляді. Тому для поліпшення виявлення місць удару в якості зовнішнього покриття

нами використана рекомендований для застосування в авіації лак АК-070, який виробляється згідно ГОСТ 25718-83 та володіє наступними властивостями:

- вміст нелетючих, % - 14-16,
- в'язкість по ВЗ-4 сек. - 15-20,
- ступінь перетирання, мкм - 30,
- міцність при ударі, кг/см - 50,
- міцність при згині по ШГ-2, мм - 1,
- твердість плівки по М-3, усл. од. - 0,45.

Після висихання отриманого таким чином зразка, що складається з підшару модифікованою люмінофором поліуретанової емалі УР-1176, який перекрито шаром акрилового лаку АК-070, нами були випробувані фізико-механічні характеристики отриманого "сендвіча". При цьому виявилось, що характеристики міцності і адгезія до підкладки відповідають вимогам ТУ та ДСТУ, згідно яким його було виготовлено.

При випробуванні ударної міцності виявилось, що при ударі силою 6,7 Дж верхній шар пошкоджується, при цьому нижній шар УР-1176 залишається неушкодженим, а люмінофор, що входить до його складу просвічує через дефекти покривного шару. Це дає можливість визначити місце удару при освітленні зразка ультрафіолетовим ліхтарем.

На рисунку 3.3 наведений зовнішній вигляд зразка виготовленого за методикою № 1 після випробування на установці "Константа 1А" з енергією удару 6,7 Джоуля. Через механічне пошкодження у зовнішньому покритті добре видно, що світиться в УФ-світлі передостанній шар.

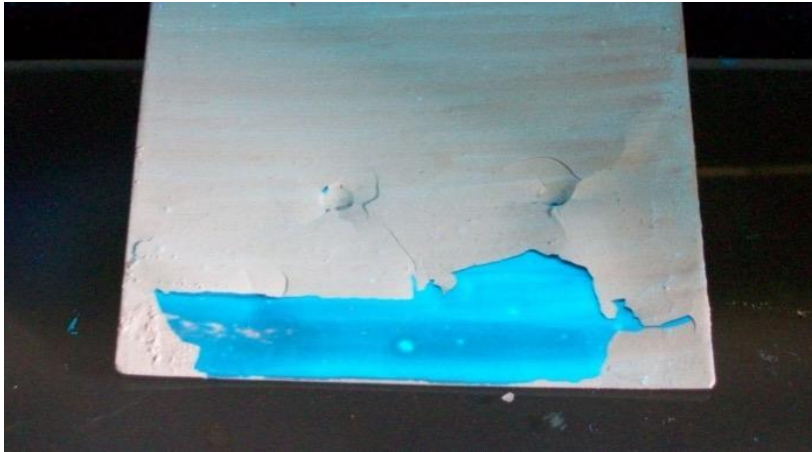


Рис. 3.3 - Вигляд зразка виготовленого за методикою № 1

У зв'язку зі складною технологією мікрокапсулювання люмінофора нами запропоновано реалізувати цей варіант технології шляхом приготування емульсійної фарби на основі штатної поліуретанової фарби. Для цього 1% - ний розчин люмінофора в етиленгліколі емульгують в поліуретановій фарбі за допомогою ультразвукової установки. Краплі розчину люмінофора в етиленгліколі, що вводяться в покриття, мають розмір 40-50 мкм. Зовнішній вигляд зразка, виготовленого за методикою № 3, після його випробування наведено на зображенні 3.5 Люмінофор з передостаннього шару виходить на поверхню після обробки пошкодженого покриття і світиться в УФ-світлі.

Методика № 2

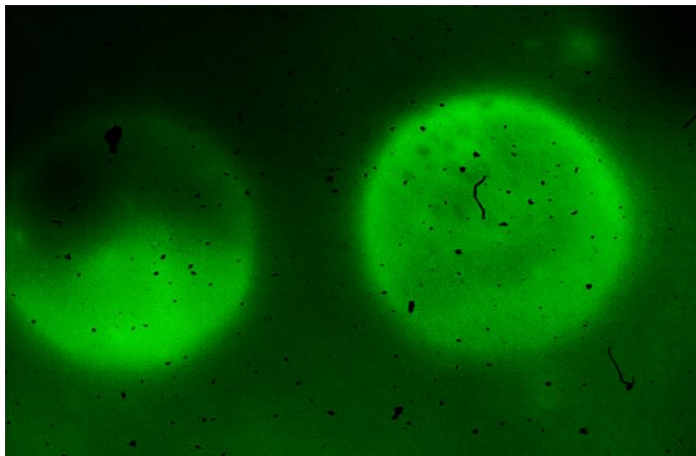


Рис. 3.4 - Краплі розчину люмінофора в етиленгліколі.

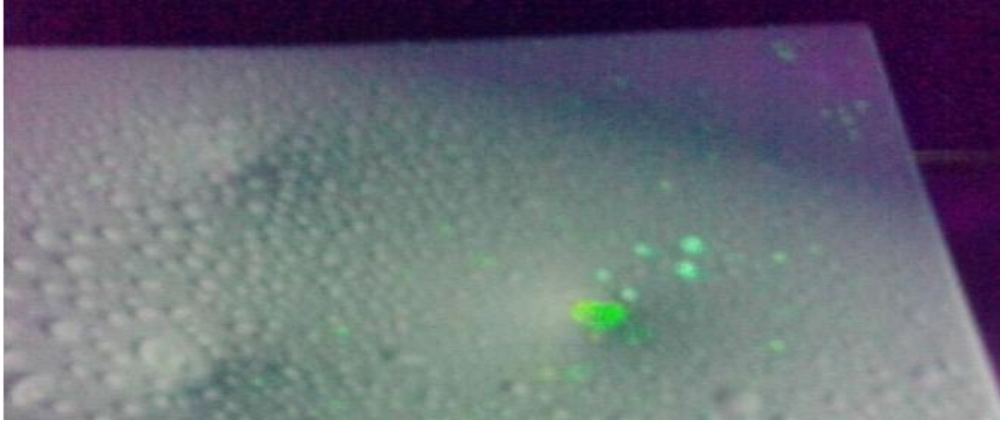


Рис. 3.5 - Зображення зразка, виготовленого по методиці 2 після нанесення удару.

Найбільш ефективним, на мою думку, є методика №3. Після випробування на удар поверхня зволожується водою. Проникаючи в дефекти, вода розчиняє "флуоресцеин", який дифундує на зовнішню поверхню крила і стає видимим при освітленні джерелом УФ опромінення. Індикація місць удару енергією 6-7 Дж за цією методикою стає можливою при товщині зовнішнього шару 30-50 мкм. Для підвищення ефективності методики доцільно при її реалізації використовувати в якості зовнішнього покриття лак АК-070.

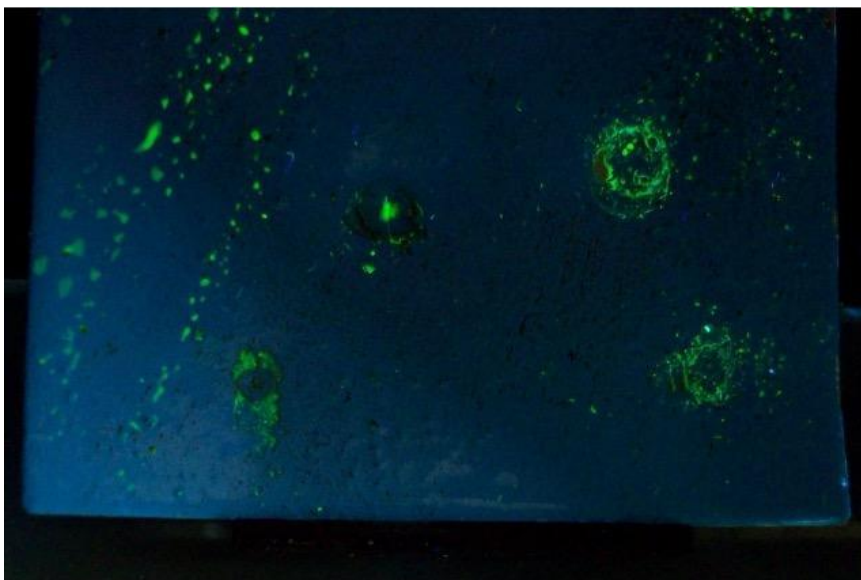


Рис. 3.6 - Зображення зразка, приготованого по методиці 3, після нанесення удару

Висновки

Для реалізації технології виявлення місць деформації обшивки авіатехніки внаслідок механічних ударів обрано метод крихких покриттів, який був реалізований у вигляді трьох методик, а саме:

- шляхом модифікації штатного поліуретанового лакофарбового покриття люмінесцентним пенетрантом ЛЖ-6Ам, призначеним для капілярного контролю,
- шляхом виготовлення емульсійної фарби на основі штатного поліуретанового розчину люмінофора 490 РТ жовто-зеленого у суміші етиленгліколю з водою,
- шляхом введення в штатну поліуретанову фарбу твердих частинок люмінофора «флуоресцеїна» розміром 1-3 мкм.

Усі три варіанти дозволяють виявляти місця розташування механічних деформацій при енергії удару, що перевищує 6,7 Джоуля. Найбільш ефективною (чутливою) серед них є методика № 3.

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА МАГНІТНИХ ТА МАГНІТНО-ЛЮМІНЕСЦЕНТНИХ КОМПОЗИЦІЙ, ЩО ДОЗВОЛЯЄ ПІДВИЩИТИ ЧУТЛИВІСТЬ МЕТОДУ МАГНІТОПОРОШКОВОГО НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ.

На сьогоднішній день виробляють люмінесцентні магнітні порошки та суспензії для підвищення чутливості магнітопорошкового контролю. Також перевагою цих матеріалів є можливість їх використання на поверхнях будь-якого кольору: білих, чорних, іржавих.

Для виготовлення таких матеріалів до магнітних мікрочастинок прививають люмінесцентний барвник за допомогою зв'язуючого, наприклад органічного полімеру полівінілацетату.

Лідируюча в світі фірма Helling GmbH випускає люмінесцентну магнітну суспензію частинок з середнім розміром 4 мкм на масляній основі в формі спрею. Фірма MR Chemie GmbH випускає флуоресцентні магнітопорошкові суспензії, розміри магнітних частинок складають кілька мікрон. ДП «КОЛОРАН» ІФХ ім. Л.В.Писаржевського НАН України випускає люмінесцентні магнітні порошки марки «Діагма», що забезпечують контраст на чорних та інших темних поверхнях, розмір магнітних частинок даної продукції складає кілька мікрон.

Більшість матеріалів для магнітопорошкового неруйнівного контролю імпортуються із-за кордону, хоча в Україні є всі умови (науково-технічна та матеріальна база) для створення вітчизняних матеріалів нового покоління.

Ефективність магнітного порошку визначається дисперсністю, магнітними та оптичними характеристиками, а магнітної суспензії – складом, концентрацією та властивостями окремих її компонентів. Зокрема,

важливими характеристиками магніточутливої рідини є седиментаційна стабільність, здатність до змочування поверхні, хімічна інертність та вартість.

4.1 ВИПРОБУВАННЯ МАГНІТНО-ЛЮМІНЕСЦЕНТНОЇ КОМПОЗИЦІЇ В МЕТОДІ МАГНІТОПОРОШКОВОЇ ДЕФЕКТОСКОПІЇ

Випробування МЛК проводилось на модельному дефекті у вигляді круглої тріщини з шириною розкриття 1,2 мкм на сталій пластині марки ЭИ-268 розмірами 10см x 2 см з використанням УФ лампи з довжиною хвилі 365 нм. В якості намагнічуючого пристрою використано постійний неодимовий магніт. При намагнічуванні об'єкту вся композиція (магнітний компонент разом з розчинником та розчиненим в ньому люмінофором) концентрується в місці дефекту (рис. 4.1).

На попередньому етапі робіт при дослідженні МР нами було встановлено вплив таких умов дефектоскопії, як концентрація МР, напруженість магнітного поля та кількість МР. Було встановлено, що напруженість магнітного поля в діапазоні 11 – 19 кА/м не має суттєвого впливу на контраст зображення, оптимальною витратою є 82 мл/м², концентрація суттєво впливає на контраст зображення.

Тому для дослідження МЛК були використані розчини різної концентрації: 12, 6, 3, 1,5 та 0,75 г/л. В ході експерименту з візуалізації дефекту 2 краплі магнітної рідини наносили на 4 см² поверхні стандартного зразку в області дефекту, що відповідає витраті 82 мл рідини на 1м².

Встановлено, що найбільш контрастне зображення формується при використанні МЛК з концентрацією 3 г/л (рис. 4.1 в), що відповідає ГОСТу 21105-87, згідно з яким концентрація люмінесцентного магнітного порошка

в суспензії має складати 4 ± 1 г/л. При використанні більших концентрацій формується менш яскраве зображення (рис. 4.1 г, д), а при використанні МЛК з меншою концентрацією зображення є менш контрастним (рис. 4.1 а, б) за рахунок меншої ефективності перерозподілу рідини між об'єктом та дефектом.

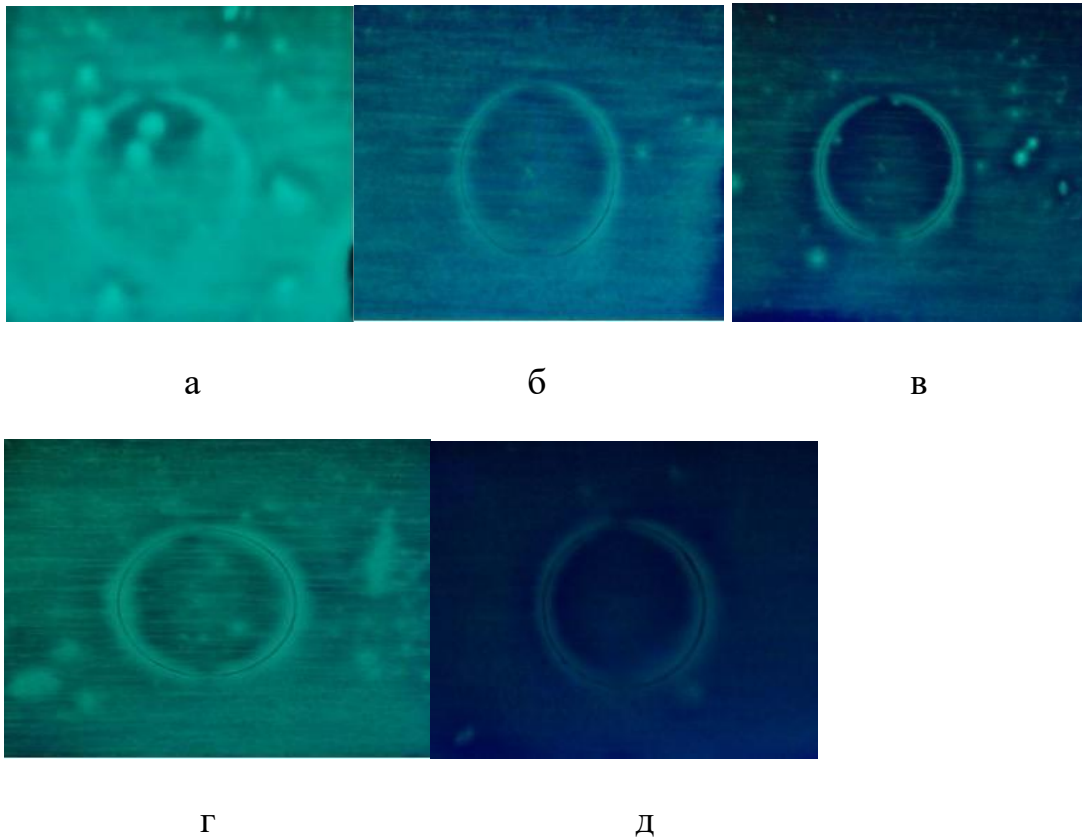


Рис. 4.1 – Дефектограма, одержана на сталій пластині за допомогою МЛК з концентрацією : а – 0,75, б – 1,5, в – 3, г – 6, д – 12 г/л.

Суттєве зниження оптимальної концентрації при використанні люмінофорів спостерігається у випадку суспензії мікрочастинок та не спостерігається у випадку МР (табл. 4.1). Це пояснюється утворенням фону осівших під дією сили гравітації мікрочастинок, що не характерно для НЧ.

Табл. 4.1. Оптимальні концентрації магнітних частинок, г/л

	Суспензія мікрочастинок	Магнітна рідина
Без люмінофору	25±5	2
З люмінофором	4±1	3

Розроблена МЛК є стабільною під дією сили гравітації. Стабільність МЛК знижується при зменшенні концентрації НЧ. В розчині з концентрацією 12 г/л осад не випав протягом двох місяців, при цьому В розчині з концентрацією 0,75 г/л осад випав за кілька діб.

В магнітному полі, утвореному дефектами, магнітні НЧ агрегують та утворюють скупчення, які формують зображення дефекту. За рахунок того, що на магнітних частинках не привитий люмінофор, агреговані частинки проявляються як чорна лінія на фоні люмінесцентного кільця, сформованого МЛК. Виходить, низька стабільність МЛК в магнітному полі не тільки не погіршує зображення дефекту, а також додає додаткового контрасту та формує тонке зображення дефекту.

Найширше зображення утворюється в зоні тріщини, яка перпендикулярна прикладеному полю. Зона дефекту, яка не проявляється через паралельність лініям магнітного поля майже відсутня (рисунок 4.1 г) або дуже мала та складає 4% від окружності (рисунок 4.1 в), що значно менше, порівнюючи з суспензією мікрочастинок (25%).

Вимоги мінімальної ширини розкриття виявленого дефекту методом магнітопорошкової дефектоскопії згідно з класифікацією ГОСТу складають: 2,0 мкм для касу А, 10,0 мкм для касу Б та 25,0 мкм для касу В. Враховуючи, що випробування розробленої МЛК відбувалося на дефекті з шириною розкриття 1,2 мкм, матеріал за цим показником відноситься до найвищого рівня чутливості – А.

4.2 ПРОНИКНЕННЯ МАГНІТНО-ЛЮМІНЕСЦЕНТНОЇ КОМПОЗИЦІЇ В ДЕФЕКТИ НЕМАГНІТНИХ МАТЕРІАЛІВ

Заповнення дефектів пенетрантом в магнітному або електромагнітному полі можна використовувати для прискорення проникнення пенетрантів, що мають магнітні властивості, наприклад, виготовлених на основі магнітної рідини. Магнітна рідина поводить себе як однофазна система і вся проникає в порожнини дефектів, розміри частинок магнітної рідини наближені до розмірів молекул, тому не закупорюють проходи дефектів. Проникнення пенетранту, приготованого на основі магнітної рідини, в порожнину дефекту прискорюється за рахунок взаємодії магнітної рідини з магнітним полем. При нанесенні магнітного пенетранту виріб розміщується в магнітному полі таким чином, щоб градієнт магнітного поля був направлений по зовнішній до контрольованої поверхні нормалі. При проявленні напрямком градієнта магнітного поля змінюють на протилежний, цим досягається повне вилучення пенетранту з рідини та утворення рисунку максимального розміру.

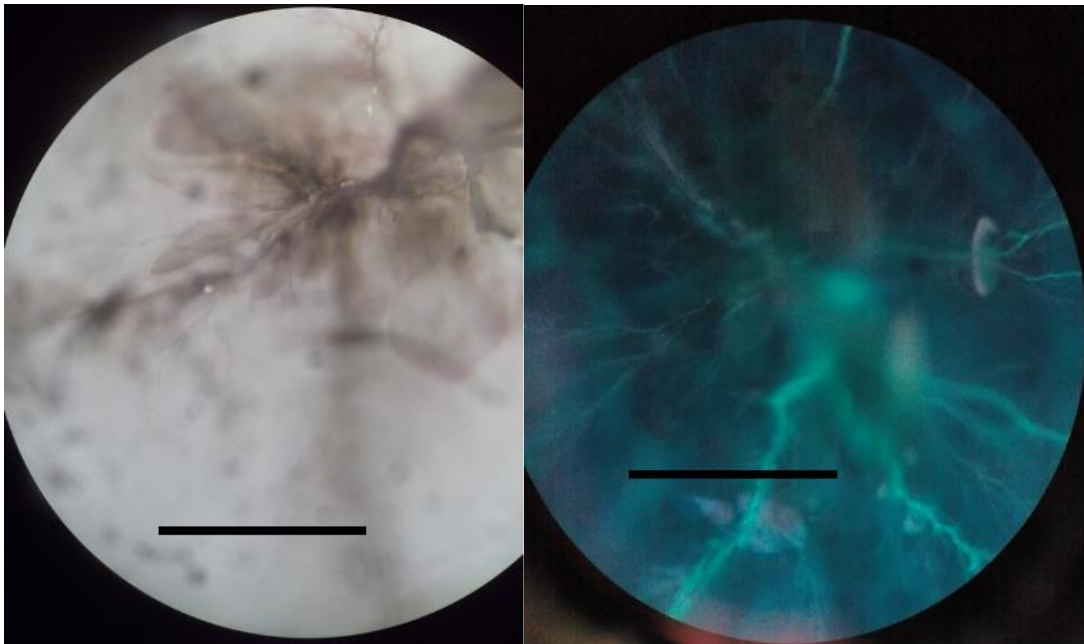
4.2.1. Фігури Ліхтенберга в плексигласі

Для дослідження проникнення розробленої МЛК в немагнітні матеріали було використано зразок плексигласу у вигляді диску діаметром 5 см товщиною 5 мм з дефектами у вигляді каналів різного діаметру, утворені в результаті електричного пробою, вхідний отвір електроду знаходиться посередині круга. Для виявлення дефектів були випробувані сучасні промислові кольорові та люмінесцентні пенетранти 1-ого та 2-ого класу чутливості, проте зазначені пенетранти виявились неефективними.

Для введення МЛК в канали об'єкта на вхідний отвір дефекту наносилось декілька крапель розчину, а з іншої сторони прикладався магніт.

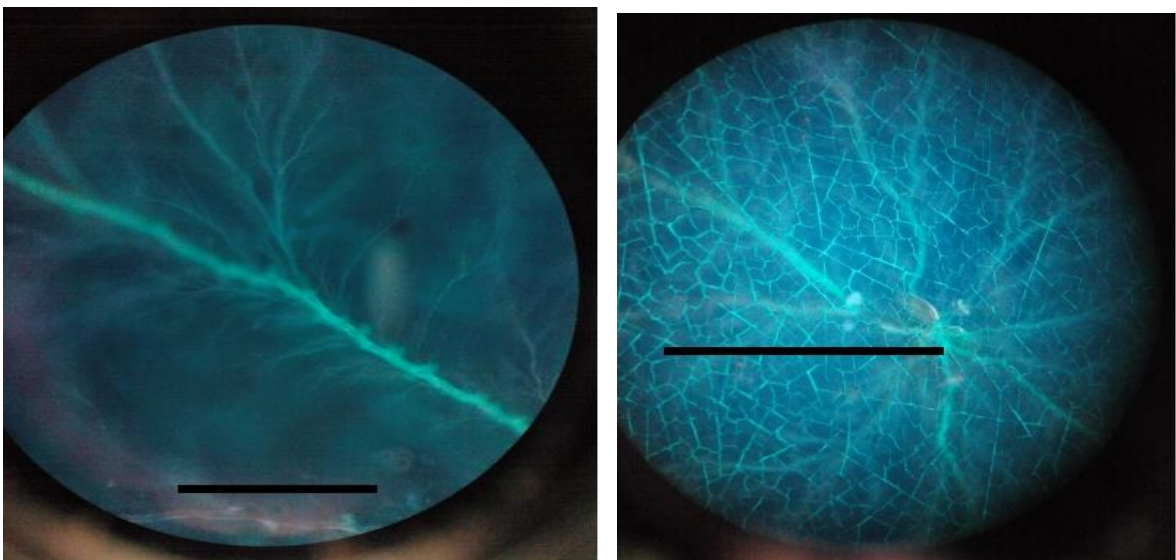
Зовнішнє магнітне поле є додатковим фактором, що сприяє проникненню композиції в вузькі канали.

Проникнення композиції встановлювали за допомогою світлового мікроскопу ZEISS Stemi 2000-C (Німеччина) при УФ опроміненні.



а

б



в

г

Рисунок 4.2 – Дефектограми в плексигласі: а – канали не проявлені червоним промисловим пенетрантом, б та в – канали, проявлені зеленою МЛК, г – поверхневі дефекти, проявлені МЛК.

При використанні червоного промислового пенетранту ЦЖ-1 навіть широкі канали дефекту, що знаходяться біля вхідного отвору не забарвлюються (рисунок 4.2 а). При використанні МЛК без магніту, композиція не проникає в канали, а при використанні магніту спостерігається люмінесцентне світіння зеленим кольором не тільки широких каналів (рисунок 4.2 б), але також вузьких відгалужень, ширина яких складає кілька мікрон (рисунок 4.2 в). Також композиція проявляє поверхневі дефекти (рисунок 4.2 г).

4.2.2. Скляний капіляр

Також для тестування МЛК на немагнітних об'єктах в якості моделі були використані скляні капіляри діаметром 1,3 мм. Глибина проникнення МЛК порівнювалася з глибиною проникнення розчину такого ж складу, проте без магнітної компоненти (розчин люмінору 490-РТ в керосині).

Як видно з фотографії (рис. 4.3), капілярні сили, що діють на МЛК, не відрізняються від таких для розчину люмінофора в керосині. Довжина заповнення капіляра для розчину люмінору складає 9 мм, а для МЛК – 10 мм. Таким чином, магнітна компонента ніяк не впливає на змочуваність та капілярні сили розчину.

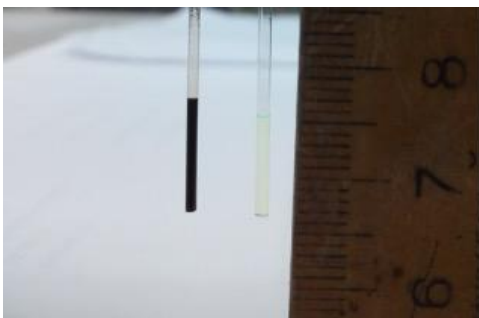


Рис. 4.3 – Скляні капіляри з магнітно-люмінесцентною композицією та розчином люмінору 490-РТ в керосині (зліва направо).

Для встановлення дії магнітного поля на МЛК, магніт повільно опускали зверху вниз до тих пір, поки композиція не притягнеться до магніту. МЛК притягується до середині магніту, проте довжину заповненого капіляру вимірювали до нижнього ребра магніту, що відповідає розміру об'єкта з однієї сторони якого нанесена МЛК, а з іншої прикладено магніт (Рис. 4.4).



а

б

Рис. 4.4 – Заповнення скляного капіляру з магнітно-люмінесцентною композицією (а) – без магніту (б) з магнітом

Заповнення капіляра добре видно як при денному освітленні (Рис. 4.4), так і при УФ-опроміненні (Рис. 4.5). Довжина заповненого капіляру складає 18 мм.

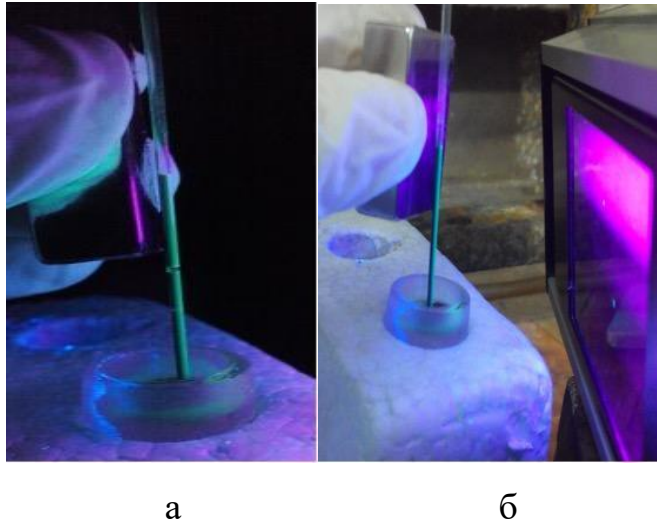


Рис. 4.5 – Скляний капіляр з магнітно-люмінесцентною композицією з магнітом (а) - при УФ-опроміненні (б) при УФ-опроміненні та денному світлі.

Таким чином, проникаюча здатність МЛК в 2 рази більше, ніж розчину того ж складу без магнітної компоненти. Отже можна передбачити, що МЛК ефективно використовувати для виявлення крізних дефектів шляхом нанесення на поверхню та прикладення магніту з іншої сторони деталі, після чого необхідно дослідити поверхню зі сторони магніту при УФ-опроміненні або використовуючи проявитель.

В порівнянні з відомими люмінесцентними магнітними суспензіями для магнітопорошкової дефектоскопії, за рахунок уникнення стадії привиття люмінесцентної компоненти до магнітної розроблена магнітно-люмінесцентна композиція відрізняється дешевизною та простотою виготовлення, а магнітна компонента характеризується високою намагніченістю. За рахунок використання стабілізованих нанорозмірних частинок магнітної компоненти МЛК характеризується значно вищою агрегативною та седиментаційною стійкістю, осад не випадає впродовж кількох місяців. В методі магнітопорошкової дефектоскопії розроблена

МЛК відрізняється високою чутливістю, на відміну від суспензії мікрочастинок, дефектограма формується не лише магнітними частинками, а також розчинником з люмінофором, що дає нові можливості для фіксації дефектограми, які планується розробити на наступному етапі. В методі капілярної дефектоскопії МЛК проявила більшу проникаючу здатність порівняно з сучасними пенетрантами за рахунок використання магнітного поля як додаткового фактора, що сприяє проникненню МЛК в дефекти. За допомогою МЛК можна виявляти крізні дефекти, на наступному етапі планується розробка матеріалів на основі МЛК для дефектоскопії та одночасної герметизації крізних дефектів.

Висновки до розділу 4

Розроблено магнітно-люмінесцентну композицію на основі наночастинок фериту, що характеризується властивостями магнітної рідини.

Виявлено високу чутливість розробленої композиції в методі магнітопорошкової дефектоскопії. Встановлено, що найбільш контрастна дефектограма отримується при використанні композиції з концентрацією магнітних частинок 3 г/л.

Показано, що розроблена композиція характеризується більш глибоким проникненням в дефекти немагнітних матеріалів, порівняно з сучасними пенетрантами.

Розроблений матеріал є перспективним та універсальним для використання як в методі магнітопорошкової, так і в методі капілярної дефектоскопії.

РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА ІНСТРУКЦІЙ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ АВІАЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙ

5.1 ТЕХНОЛОГІЧНА ІНСТРУКЦІЯ

Технологічна інструкція є керівництвом з проведення капілярного люмінесцентного контролю методом ЛЮМ1-ОВ деталей, вузлів капілярного люмінесцентного контролю методом ЛЮМ1-ОВ деталей, вузлів, заготовок, виготовлених з титанових сплавів і нержавіючих сталей (а також з інших матеріалів - у деяких випадках), що застосовуються під час виробництва, ремонту і доопрацювання літаків на ДП "АНТОНОВ".

Інструкція встановлює сферу застосування методу ЛЮМ1-ОВ, технічні вимоги щодо забезпечення технологічного процесу його проведення, безпеку праці та охорону навколишнього середовища, утримання праці та охорону навколишнього середовища, зміст технологічного процесу, вимоги до умов виконання технологічного процесу та до забезпечення необхідної якості капілярного контролю.

“Додатко 1” вміщує в себе повний обсяг “Технологічної інструкції”, якщо ми з вами розглянемо основні положення то вони будуть виглядати наступним чином:

1. ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ.
2. БЕЗПЕКА ПРАЦІ ТА ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.
3. ЗМІСТ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ КАПІЛЯРНОГО КОНТРОЛЮ МЕТОДОМ ЛЮМ-ОВ (І 5 М 1 П 6).
4. ВИМОГИ ДО УМОВ ВИКОНАННЯ ПРОЦЕСУ КАПІЛЯРНОГО КОНТРОЛЮ ТА ДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НЕОБХІДНОЇ ЯКОСТІ

КОНТРОЛЮ.

Додаток 1.1 РЕЦЕПТУРА, СПОСОБИ ВИГОТОВЛЕННЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ПАСТ ДЛЯ ЗАХИСТУ ШКІРНИХ ПОКРИВІВ ВІД ВПЛИВУ РОЗЧИННИКІВ.

Додаток 1.2 ПОРЯДОК ОЧИЩЕННЯ РОБОЧИХ І ВИХІДНИХ СТАНДАРТНИХ ЗРАЗКІВ.

Додаток 1.3 КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ДЕФЕКТОСКОПІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ.

Додаток 1.4 ПОРЯДОК ВИЗНАЧЕННЯ В'ЯЗКОСТІ ДЕФЕКТОСКОПІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ВІСКОЗИМЕТРА ВЗ - 4 (ВЗ - 246).

Додаток 1.5 СХЕМА ВИКОНАННЯ КОНТРОЛЮ ДРІБНИХ І СЕРЕДНІХ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ ЛЮМІ-ІВ ІЗ ЗАЗНАЧЕННЯМ НЕОБХІДНОГО ОБЛАДНАННЯ ТА МАТЕРІАЛІВ

5.2 ЗАВОДСЬКА ІНСТРУКЦІЯ

Заводська інструкція має у собі Типовий технологічний процес неруйнівного контролю "КОНТРОЛЬ ДЕТЕЛЕЙ І ВИЛИВКІВ З КОЛЬОРОВИХ СПЛАВІВ І НЕРЖАВІЮЧИХ СТАЛЕЙ ЛЮМІНЕСЦЕНТНИМ МЕТОДОМ ЛЮМ-18С. ", а саме карту типового технологічного процесу (КТТП), що встановлює послідовність виконання операцій неруйнівного контролю (НК) виливків і деталей з алюмінієвих, магнієвих, титанових сплавів і нержавіючих сталей люмінесцентним методом ЛЮМ-18С у процесі виробництва.

Люмінесцентний контроль деталей методом ЛЮМ-18С проводять в обсязі вимог креслення або технічних умов з метою виявлення невидимих або слабо видимих неозброєним оком дефектів на кшталт тріщин, неслитин, затискачів та ін., що виходять на контрольовану поверхню.

У "Додатку 2" ви можете побачити:

- 1. Загальні вказівки**
- 2. Підготовка до контролю.**
- 3. Дефектація деталей.**
- 4. Техніка безпеки.**
- 5. Додаток 2.2 Порядок виявлення в'язкості проявника ПРм-4 за допомогою віскометра ВЗ-4 (ВЗ-246).**
- 6. Додаток 2.3 Методика виміру опроміненості в робочій зоні.**
- 7. Додаток 2.4 Форма журналу контрольних перевірок на ділянках капілярного контролю.**

Висновки до розділу 5

З метою розробки процесу технологічного контролю лопаток турбін авіаційних двигунів нами запропонована директивна «Технологічна інструкція» виявлення таких дефектів та виявлення корозії.

На основі люмінесцентного неруйнівного контролю розроблено технологічний процес в умовах виробництва, який дає змогу виявляти найбільш небезпечні поверхневі дефекти, та «Заводська інструкція», яка впроваджується у ДП АНТОНОВ, Філія "Серійний завод "Антонов" Державного підприємства "Антонов".

РОЗДІЛ 6. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЄКТУ

6.1 Опис ідеї проекту

На основі проведеної роботи «Діагностика дефектів авіаційних конструкцій», було обрано ідею стартап-проекту (таблиця 6.1), яка базується на розробці та запровадженні лабораторії для дослідження дефектів авіаційних конструкцій за допомогою проникаючих речовин

Таблиця 6.1 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вимоги для замовника
Розробка технологій та інструкцій до проведення робіт по виявленню дефектів авіаційних конструкцій	Покращення методів та пришвидшення процесу виявлення дефектів. Розвантаження сил державних підприємств	Своєчасне надання деталей на перевірку, сумлінна співпраця та аналіз результатів перевірок

Станом на 2023 рік Україна все більше використовує та нарощує виробництво та модернізацію ЛА. Діагностика дефектів авіаційних конструкцій займе свою нішу досить швидко. Визначення сильних слабких та нейтральних характеристик проекту відображено у таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 - SWOT-аналіз проекту лабораторії для дослідження дефектів авіаційних конструкцій за допомогою проникаючих речовин

Мета проекту		
+	S	O

	<ul style="list-style-type: none"> ● Команда має глибокі знання в області діагностика дефектів авіаційних конструкцій. ● Попит на оптимізацію та покращення виявлення дефектів у сфері авіації високий, що створює потенційний ринок. ● Розробка новаторських методів дефектоскопії може призвести до вищої ефективності в порівнянні з існуючими рішеннями. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Співпраця з авіакомпаніями для тестування та впровадження може забезпечити підтримку та ринкові можливості. ● Розширення функціональності для інших галузей, які потребують виконання робіт з дефектоскопії (наприклад, автомобільна промисловість). ● Зростаючий інтерес до авіаційних інновацій та нових технологій може створити сприятливі умови для впровадження продукту.
-	<p>W</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Розробка нових методів може вимагати значних технічних ресурсів та витрат. ● Методи повинні бути перевірені експериментально, що може вимагати співпраці з авіаційними підприємствами та витрат на тестування. ● Ринкові зміни в авіаційній промисловості можуть 	<p>T</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Висока конкуренція з компаніями які можуть також працювати над подібними технологіями та конкурувати за тих самих клієнтів. ● Строгі авіаційні нормативи та обмеження можуть ускладнити впровадження нових технологій.

	вплинути на попит на дані послуги.	<ul style="list-style-type: none"> Економічні зміни можуть вплинути на бюджети авіакомпаній та їх інвестиції в нові технології.
Пошук конструктивного рішення		
	О	Т
S	<ul style="list-style-type: none"> Розробити та підкреслити унікальні функції та переваги продукту, які важко скопіювати конкурентами. 	<ul style="list-style-type: none"> Розробка тісних відносин із спеціалістами в галузі регуляторних питань для завчасного врахування та виконання вимог.
W	<ul style="list-style-type: none"> Активна участь у розробці стандартів та регуляторних рамок для забезпечення відповідності продукту. Встановлення гнучкої стратегії ціноутворення, яка дозволяє адаптуватися до економічних змін та забезпечує доступність послуг для клієнтів. 	<ul style="list-style-type: none"> Розширення присутності на різних ринках та галузях, що дозволяє зменшити вплив економічних факторів в одній сфері Встановлення партнерських зв'язків з ключовими гравцями в авіаційній галузі для спільної розробки та впровадження технології.

6.2 Технологічний аудит проекту

Задля початку належного функціонування лабораторії для дослідження дефектів авіаційних конструкцій за допомогою проникаючих речовин необхідно визначити першочергові вимоги для цього. Для цього

необхідно провести аналіз технічних можливостей, які існують на момент початку проекту. Результати аналізу наведено в таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 – Технологічний аудит проекту

Ідея проекту	Технології реалізації	Наявність технологій	Доступність технології
Створення наукового центру	Бюрократичні процедури	Створено	Наявність необхідних держустанов
Оснащення лабораторії	Спеціальне обладнання, станки, матеріали.	Створено	Наявність на ринку необхідного обладнання, інструментів, безперебійне постачання матеріалів, наявність приміщень.
Створення технічної документації	Технічних та заводських інструкцій	Створено	Наявність на власних інструкцій.
Лабораторні випробування	Тести на дефекти за допомогою різних методів	Створено	Наявність приміщень, наявність висококваліфікованого персоналу, наявність інструкцій та обладнання

6.3 Аналіз ринкових можливостей

- Перед початком реалізації ідеї, на цьому етапі аналізується ринок, щоб визначити, чи є можливість зайняти певну нішу на ринку.

(таблиця 6.4). Наразі вибір ринку діагностики дефектів авіаційних конструкцій є перспективним, оскільки цей ринок є актуальним і має великий потенціал для зростання.

Таблиця 6.4 - Попередня характеристика потенційного ринку
стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	3
2	Загальний обсяг продаж, проєктів	Залежить від замовника
3	Динаміка ринку	Зростає
4	Наявність обмежень для входу	Високе технологічне забезпечення
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Наявне
6	Середня норма рентабельності в галузі, %	Близько 40%

- Щоб зрозуміти, яку нішу займає компанія на ринку, потрібно вивчити її потенційних клієнтів, оскільки аналіз потреб і запитів потенційних клієнтів допомагає компанії сформулювати свою унікальну пропозицію. Визначення цільової групи допомагає компанії визначити, кому вона хоче продавати свої продукти або послуги. Це, у свою чергу, дозволяє компанії розробити маркетингові стратегії та канали комунікації, які будуть найбільш ефективними для досягнення заданої цілі. Таблиця 8.5 містить інформацію про потенційних клієнтів, їх характеристики та вимоги до товару. Ця інформація може бути використана для розробки товару, який буде відповідати потребам різних груп клієнтів.

Таблиця 6.5 - Характеристика потенційних клієнтів проекту

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Вимоги замовника до послуги
Розробка та дослідження нових методів виявлення дефектів у авіаційній галузі	Цивільні та військові структури, приватні замовники.	Точне виконання робіт та надання результатів у найшвидші терміни.

З метою виявлення потенційних загроз і можливостей для проекту на ринку проводиться додатковий аналіз для прогнозування цих подій і очікуваної реакції компанії на цю подію. До основних загроз можна віднести відсутність клієнтської бази та потенційних клієнтів, а також труднощі з налагодженням оптимального робочого процесу на ранніх стадіях реалізації.

Даний аналіз приведено у таблицях 6.6 та 6.7.

Таблиця 6.6 – фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Недостатня кількість або відсутність замовлень	Небажання працювати з новою компанією на ринку.	Рекламне охоплення компанії. Надання більш вигідних умов на початку для створення бази замовників.
2	Надмірні витрати	Кількість необхідних ресурсів для роботи вище запланованої.	Оптимізація виробничих та невиробничих процесів.

			Зміна структури проведення роботи.
--	--	--	------------------------------------

Таблиця 6.7 – фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Вихід на міжнародний ринок	Велика кількість авіаційних підприємств за кордоном доєднається до користування послугами	Розширення штату та матеріального рівня доходу працівників. Відкриття філіалів в різних регіонах країни для більш рівномірного розподілу роботи.
2	Співпраця із великими компаніями	Вихід на співпрацю із великими авіабудівними компаніями.	Підвищення статусу та рівня довіри до компанії призведе до більшого признання на ринку. Розширення переліку послуг.

Надалі проводиться аналіз пропозиції: визначаються загальні риси конкуренції на ринку (таблиця 6.8).

Таблиця 6.8 - ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
Тип конкуренції	Олігополія	На ринку лабораторій для дослідження дефектів авіаційних конструкцій існує невелика кількість великих компаній-виробників, які контролюють більшу

		частину ринку. Це означає, що конкуренція між цими компаніями є дуже жорсткою.
Рівень конкурентної боротьби	Міжнародний	Ринок лабораторій для дослідження дефектів авіаційних конструкцій є глобальним. Це означає, що компанії конкурують не лише на внутрішньому ринку, а й на міжнародному. Це підвищує рівень конкурентної боротьби.
Галузева ознака	Внутрішньогалузева	Конкуренція на ринку лабораторій для дослідження дефектів авіаційних конструкцій відбувається між компаніями, які досліджують аналогічні проекти. Це означає, що компанії повинні постійно поліпшувати свої продукти та послуги, щоб бути конкурентоспроможними.
Конкуренція за видами товарів	Товарно-родова	Конкуренція на ринку лабораторій для дослідження дефектів авіаційних конструкцій відбувається між компаніями, які мають різні типи дослідження дефектів. Це означає, що компанії повинні мати широкий асортимент продукції, щоб задовольнити різні потреби клієнтів.

<p>За характером конкурентних переваг</p>	<p>Нецінова</p>	<p>Конкуренція на ринку лабораторій для дослідження дефектів авіаційних конструкцій відбувається не лише за ціною, а й за іншими факторами, такими як якість, термін виконання робіт, технічна підтримка тощо. Це означає, що компанії повинні приділяти особливу увагу цим факторам, щоб бути конкурентоспроможними.</p>
<p>За інтенсивністю</p>	<p>Брендова</p>	<p>Ринку лабораторій для дослідження дефектів авіаційних конструкцій навантажень є брендовим. Це означає, що клієнти часто віддають перевагу послугам певних брендів. Це підвищує важливість брендингу та маркетингових зусиль для компаній.</p>
<p>Особливості конкурентного середовища</p>	<p>В чому проявляється дана характеристика</p>	<p>Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)</p>

6.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (таблиця 6.9).

Таблиця 6.9 - вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів прийняти продукт	Орієнтовний попит цільової групи	Інтенсивність конкуренції	Простота входу в сегмент
1	Приватні організації	Висока	Високий	Високий	Низький
2	Військові структури	Висока	Високий	Високий	Низький

Вибір базової стратегії розвитку підприємства представлено в таблиці 6.10.

Таблиця 6.10 - вибір базової стратегії розвитку підприємства

Чи є проект першопроходцем на ринку	Пошук нових споживачів, або забирати існуючих у конкурента	Чи буде компанія копіювати основні характеристики та послуги конкурента	Стратегія конкурентної поведінки
-------------------------------------	--	---	----------------------------------

Частково	Пошук існуючих споживачів	Частково	Стратегія заняття конкурентної ніші
----------	---------------------------	----------	-------------------------------------

Висновок до розділу 6

Розглянута ідея стартап-проекту – лабораторія для дослідження дефектів авіаційних конструкцій – направлена на покращення виявлення дефектів авіаційних конструкцій та має великий потенціал у розвитку і реалізації.

РОЗДІЛ 7. ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО НЕРУЙНІВНОЇ ДІАГНОСТИКИ ПРОНИКАЮЧИМИ РЕЧОВИНАМИ ДЕФЕКТІВ АВІАЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Висновки:

Використання люмінесцентних проникаючих речовин у неруйнівній діагностиці авіаційних конструкцій виявилось дуже ефективним для виявлення навіть мінімальних дефектів. Це дозволяє підвищити надійність діагностики та зменшити ризик пропуску браку при виробництві та експлуатації аерокосмічних конструкцій.

З метою розробки процесу технологічного контролю лопаток турбін авіаційних двигунів нами запропонована директивна «Технологічна інструкція» виявлення дефектів та корозії. На основі люмінесцентного неруйнівного контролю розроблено технологічний процес в умовах виробництва, який дає змогу виявляти найбільш небезпечні поверхневі дефекти, та «Заводська інструкція», яка впроваджується у ДП АНТОНОВ, Філія "Серійний завод "Антонов" Державного підприємства "Антонов".

Другий напрям—магніто-люмінесцентний порошковий варіант контролю. Розроблена перспективна технологія його використання в разі суміщення люмінесцентного пенетранта з магнітними наночастинками, які синтезують хімічно. Така комбінована суспензія відрізняється високою стабільністю і чутливістю та може бути використана як люмінесцентний магнітний пенетрант тривалого строку дії для широкого спектру матеріалів.

Таким чином з'явилась можливість забезпечити найбільш чутливий пошук поверхневих дефектів та перевірки відповідальних деталей кріплення лопаток двигунів (чутливість підвищується до максимального 1 класу).

Вперше застосовано люмінесцентний метод виявлення міст ударів літаків з птахами, внаслідок чого стає можливим процес експрес-виявлення візуальним обстеженням УФ-джерелом міст пошкодження авіаційних конструкцій, який використовує світіння механічних пошкоджень внаслідок люмінесценції фарбового покриття у місцях його порушення.

Використання люмінесцентних проникаючих речовин дозволяє підвищити чутливість контролю дефектів з розміром до першого класу (ширина розкриття менше 1 мкм), знизити вплив людського фактору на процес контролю та забезпечити більш об'єктивні результати.

Рекомендації:

Застосування сучасних технологій для діагностики методом проникаючих речовин дають можливість підвищити ефективність та точність контролю.

Результати наукових досліджень, які були отримані в ході проведення роботи, дозволили розробити Інструкцію для контролю лопаток авіаційних двигунів у серійному виробництві.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. СУСЛІКОВ Л. М., СТУДЕНЯК І.П. УЖНУ.«НЕРУЙНІВНІ МЕТОДИ КОНТРОЛЮ». [Електронний ресурс]. URL: <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/bitstream/lib/45064/1/%D0%9D%D0%95%D0%A0%D0%A3%D0%99%D0%9D%D0%86%D0%92%D0%9D%D0%86%20%D0%9C%D0%95%D0%A2%D0%9E%D0%94%D0%98.pdf>
2. О.М. Князев. Композиційні матеріали у ракетобудуванні. https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/27439/2/VII_MNTK_2018v1_Kniazev_O_M-Composite_materials_in_33-34.pdf
3. Механіка руйнування і міцність матеріалів. Під редак. В.В. Панасюка. Львів: ФМІ ім. Г.В. Карпенка, 2006.
4. Казакевич, М. Л. Механіка матеріалів і конструкцій. Лабораторний практикум (Частина 2) [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальністю 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка / М. Л. Казакевич, В. В. Сухов, О. Г. Архипов ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові данні (1 файл: 1,5 МБайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 84 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/56897>
5. Damage detection in composite materials using frequency response methods / S.S. Kessler, S.M. Spearing, M.J. Atalla, et al. // Composites Part B: Engineering. – 2002. – V.33. – P. 87 – 95..
6. Андрейко. Моніторинг експлуатаційної деградації авіаконструкцій / І. Андрейко, Ю. Головатюк// ВісникТНТУ. — 2013. — Том 71. — No 3. — С.237-244.
7. Білокур І. П. Основи дефектоскопії: Підручник. — К.: «Азимут-Україна», 2004. — 496 с.
8. Лабораторний практикум з дисципліни «Оптичний, тепловий та радіохвильовий контроль». — Івано-Франківськ: ІФДТУНГ, 1997.

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

10. Е.С. Геворкян, О.М. Мельник. УкрДЗУТ. «НЕРУЙНІВНІ МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ». [Електронний ресурс]. URL: <http://lib.kart.edu.ua/bitstream/123456789/2823/1/%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%81%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82%20%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D0%B9.pdf>

11. 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.

12. Храмов В. А. Первинні вимірювальні перетворювачі вимірювальних приладів і автоматичних систем: Навч. посібник. — К.: Вища школа, 1998. — 527 с.

13. Бублик Г. Ф. Фізичні процеси в приладах і системах: Навч. посібник. — К.: Либідь, 1997.-200 с.

14. Білокур І. П. Елементи дефектоскопії при вивченні неруйнівного контролю. — К.: НМК ВО, 1990. — 252 с.

15. Неразрушающий контроль качества строительных конструкций, В.А.Троицкий, В.П.Радько, В.Г.Демидко, В.Г.Бобров, К., Техника, 1986.159 с.

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

17. В. Б. Біліщук, Р. Т. Боднар, О. Г. Малько. Інститут інформаційних технологій, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. «МЕТОДИ І ПРИЛАДИ КОНТРОЛЮ ТЕХНОЛОГІЧНИХ

ПАРАМЕТРІВ ».[Електронний ресурс]. URL:
<https://nung.edu.ua/department/iit>

18. Посібник по контролю якості зварних з'єднань. Видання друге. Троїцький В.О., К., 1997. - 224 с.

19. ДСТУ EN ISO 9934-1. Неразрушаючий контроль. Магнітопорошковий контроль. Часть 1. Общие требования.

20. ДСТУ EN ISO 9934-2. Неразрушаючий контроль. Магнітопорошковий контроль. Часть 2. Средства контроля.

21. ДСТУ EN ISO 3059:2007 Неруйнівний контроль. Капілярний та магнітопорошковий контроль. Умови огляду

22. ДСТУ EN 10228-1:2005 Контроль поковок из стали неразрушающий. Часть 1. Контроль магнітопорошковий

23. ДСТУ EN ISO 9712:2014 «Неруйнівний контроль. Кваліфікація та сертифікація персоналу неруйнівного контролю». // 2016. – 43 с.

24. ДСТУ EN 4179:2017 «Аерокосмічна серія. Кваліфікація і атестація персоналу для неруйнівного контролю». // 2017. – 31 с.

25. SNT-TC-1A «Personnel Qualification and Certification in Nondestructive Testing» // The American Society for Nondestructive Testing. – 2011. – 40 p.

26. III науково-технічна конференція “НК в контексті асоційованого членства України в ЄС” 17-19 вересня 2019 року, м. Київ, Україна

27. ISO/TR 25107:2018 «Non-destructive testing – NDT training syllabuses» // Published in Switzerland. – 2018. – 108 p.