

ВІДГУК

офіційного опонента, на дисертаційну роботу
Косаревича Ростислава Ярославовича: **«Розроблення методів аналізу
оптичних зображень неоднорідностей на поверхні матеріалу для
моніторингу технічного стану об'єктів»**,

подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю
05.02.10— діагностика матеріалів і конструкцій

Актуальність теми дисертації та зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Від достовірного визначення технічного стану об'єкту контролю залежить безпека людей пов'язаних із його експлуатацією або оточуючого середовища. Швидкість та технологічна простота використання методів контролю підвищують точність та експресність контролю, знижуючи його вартість. Таким критеріям в повній мірі відповідають методи візуально-оптичного контролю об'єктів експлуатації в багатьох галузях промисловості. Якщо стисло проаналізувати його властивості і характеристики, то можна відмітити наступне.

Основний результат методу – огляд, за допомогою оптичних засобів, поверхонь об'єкта контролю на наявність дефектів та аномалій, який може здійснюватись незалежно або в поєднанні з іншими методами контролю. Зондувальним середовищем або джерелом енергії при цьому виступає видима область спектра. Сигналами і інформаційними характеристиками - відбите, проникаюче, розсіяне і індуковане випромінювання об'єкта дослідження, для детектування якого використовуються оптичні засоби, збільшувальне скло, бороскопи, відео та плівкові фотокамери. Як спосіб реєстрації виступає візуальне зображення, а методами обробки інформації - аналіз зображення.

Якщо перелічити цілі використання візуально-оптичного методу, то серед них можна вказати: виявлення дефектів типу порушення суцільності: тріщини, раковини, пори і включення; вимірювання розмірів; визначення фізико-механічних властивостей - шорсткість, зерно і плівка; визначення компонентного і хімічного складу; визначення динамічних характеристик -

видимі реакції напруженості шару. Бачимо широкий спектр задач, який дозволяє реалізувати цей метод. Якщо ж розглянути області використання, то можна зауважити, що для методу доступне необмежене коло матеріалів. Об'єктами контролю можуть виступати поверхні, шари, плівки, покриття, цілі об'єкти, а технологічними операціями де його можна застосовувати - контроль і регулювання виробничої лінії і поза нею, з метою діагностики - всі види технологічних операцій і випробувань. Такі властивості і характеристики роблять використання візуально-оптичного методу надзвичайно привабливим і відповідно актуальним. Але є і ряд обмежень методу: в переважній більшості це візуальний доступ до об'єкта дослідження, також зазвичай потрібні спеціальні оптичні засоби, які можуть використовувати різні кратності збільшення. Також для обробки отриманої інформації потрібне додаткове застосування інших методів контролю для розрізнення, виявлення і вимірювання дефектів. Якраз вказані обмеження методу роблять актуальними представлені в роботі методи аналізу оптичних зображень для отримання більшого об'єму інформації про об'єкт дослідження, використовуючи нові способи інтерпретації отриманих даних.

Дисертаційна робота виконана у відповідності до науково-дослідних програм і тематичних планів Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України, а саме, держбюджетних наукових тем, де автор був відповідальним виконавцем: № д. р. 0100U004859, (1999-2001pp.); № д. р. 0102U002670, (2002-2004pp.); № д. р. 0103U006324, (2003-2004pp.); № д. р. 0105U004310, (2005-2007 pp.); № д. р. 0108U004276, (2008-2010pp.); № д. р. 0111U002380, (2011-2013pp.); № д. р. 0114U004007, (2014-2016pp.), а також як виконавець № д. р. 0112U002779, (2012-2016pp.).

Загальна характеристика роботи.

Дисертаційна робота складається із вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел і двох додатків. Її загальний обсяг складає 291 стор. (у т.ч. машинописного тексту основної частини дисертації – 264 стор.,

обсяг додатків – 3 стор.). Робота містить 104 рисунки, 6 таблиць і 215 бібліографічних найменувань (24 стор.).

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету і задачі дослідження, описано об'єкт, предмет і методи досліджень, наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, а також подано інформацію про особистий внесок здобувача, апробацію результатів роботи, її структуру та публікації.

У **першому** розділі проведено огляд та аналіз основних методів для дослідження оптичних зображень для діагностування поверхонь матеріалів та виробів. На основі проведеного аналізу сформульовано основні завдання, які необхідно було розв'язати під час виконання дисертаційної роботи.

У **другому** розділі наведено результати модифікації ряду методів сегментації для металографічних зображень та запропоновано їх застосування з метою визначення кількісних параметрів неоднорідностей поверхні, таких як кавітаційні пошкодження, втомні тріщини, границі зерен матеріалу. Слід відмітити широкий математичний апарат, який застосовуються при побудові методів сегментації: положення аналітичної геометрії, теорії графів, теорії ймовірності та математичної статистики. На основі встановлених недоліків запропоновано ряд уточнень, які дозволяють отримати більш точні морфологічні характеристики досліджуваних неоднорідностей, що підтверджується проведенням порівнянь із відомими методами.

У **третьому** розділі досліджуються властивості відомої математичної моделі – випадкового точкового процесу з метою її застосування для аналізу металографічних зображень. Аналізуючи різноманітні характеристики моделі автор показує, що з їх допомогою можна комплексно вирішити задачу аналізу такого класу зображень, від виділення неоднорідностей на зображенні, до опису їх взаємного розташування, який включає класифікацію виду взаємодії між ними.

У **четвертому** розділі представлено ряд діагностичних задач мікроаналізу поверхні матеріалу, які розв'язуються з допомогою представлення елементів металографічних зображень у вигляді точкових полів – реалізацій випадкових

точкових процесів. Так важлива задача оцінки розміру зерна матеріалу розв'язана з допомогою побудови оцінки такої величини на основі функції кореляції пар випадкових точок точкового поля. На основі експериментальних досліджень показано, що значення так вибраної оцінки практично співпадають з фактичними значеннями. Крім того використання такого підходу не вимагає замкнутості кривих на зображення, які відповідають міжзеренним межах.

Іншою задачею діагностики стану матеріалу, яка розв'язана автором є проблема оцінки стрічковості розташування карбідів на поверхні досліджуваного зразка. Відомо, що вона є мірою високотемпературної деградації матеріалу, тому важливим було розробити метод оцінки існування стрічко подібних структур карбідів. На основі досліджень функцій розподілу кута орієнтації вектора, що сполучає два довільні найближчих карбідів показано, що така характеристика є локальною ознакою і не може використовуватись для вирішення задачі, тому було розроблено нову ознаку – потужність кластерів однаково орієнтованих пар карбідів. Застосування запропонованої ознаки дозволило чітко розділяти фрагменти поверхні із наявною стрічковістю карбідів.

Дослідження фактографічних поверхонь та їх складових дозволило дисертанту розробити систему ознак, на основі характеристик відповідних точкових полів, з метою класифікації областей таких поверхонь. Це дало змогу сформувати кількісні оцінки зміни площі ділянок характерних типів руйнування в залежності від технологічних умов експлуатації матеріалу.

У п'ятому розділі досліджено задачу опису пітингової корозії нержавних сталей за допомогою випадкових точкових процесів. Встановлено, що відповідною моделлю, яка найбільш точно відтворює цей процес є модель випадкового точкового процесу із парною взаємодією у формі Фіксела. Застосування стохастичних моделей для опису такого виду пошкоджень дозволяє прогнозувати загальний вид розповсюдження деградацій на поверхні зразка. Застосовуючи марковані випадкові точкові поля показано, що на основі визначення параметрів застосовуваних моделей можна встановити існування та характер взаємодії між окремими пітингами. Зокрема вводячи додаткову

характеристику для кожного пітинга - його глибину і розділяючи її за певним пороговим значенням можна пошкодження розділити на стабільні та метастабільні пітинги і за характером взаємного розташування як однотипних так і різнотипних пошкоджень стверджувати про існування та вид зв'язку між ними.

У шостому розділі розглянуто задачу побудови стохастичної моделі пітингової корозії, яка б відображала процеси зародження і розвитку пошкоджень, а також враховувала існування взаємного впливу окремого корозійного пошкодження на сусідні. Враховуючи існуючі моделі та попередні дослідження автором запропоновано модель у вигляді маркованого Гаусівського випадкового точкового процесу. Потенціальна функція у цьому випадку складається із двох доданків, один з яких відображає процес зародження та ріст в глибину окремого фітинга, а другий відображає взаємний зв'язок між пошкодженнями. Проведені дослідження запропонованої моделі підтверджують відповідність між розподілом максимальних величин пітингів отриманих згідно симуляцій моделі та розподілом екстремальних величин у формі Гумбеля. Показано також, що результати моделювання максимальної глибини пітингів добре узгоджуються із експериментальними даними та характеризуються меншою похибкою визначення максимальної глибини пітинга в порівнянні із відомими моделями.

Основні наукові результати роботи та їх новизна – дисертантом вперше розв'язано низку науково-практичних задач, зокрема, розроблено:

- нові та вдосконалено відомі методи виділення характерних ознак оптичних зображень структурних неоднорідностей на поверхні матеріалу з використанням нових модельних підходів;
- спосіб формування точкового поля, яке відтворює об'єкт дослідження, як реалізації випадкового точкового процесу на оптичному зображенні;

- характеристики об'єктів, отримані на основі сформованих точкових полів, з метою їх використання для прогнозування властивостей та рівня деградації матеріалу;

- стохастичні моделі на основі точкових випадкових процесів для опису процесу деградації матеріалу за локальних пошкоджень поверхні.

- методи виявлення виду зв'язку між локальними точковими корозійними пошкодженнями на поверхні матеріалу на основі параметрів стохастичних моделей, що їх описують;

- методи симуляції запропонованих математичних моделей з метою їх верифікації.

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації, забезпечується наступним. Теоретичні дослідження в роботі базуються на фундаментальних положеннях аналітичної геометрії, теорії графів, теорії ймовірності, математичної статистики, статистичної теорії оцінювання, теорії випадкових точкових процесів, числового та комп'ютерного моделювання, оптичної та електронно-мікроскопічної металографії та фрактографії.

Для верифікації розроблених методів розроблене програмне забезпечення, та використані програмні реалізації відомих підходів. Основні положення та висновки отримані автором за результатами вирішення сформульованих наукових задач на основі використання існуючих та розроблених методів випробувань, неруйнівного контролю матеріалів та діагностики виробів у лабораторних умовах. Достовірність отриманих наукових результатів забезпечується порівнянням результатів виконаних в дисертації досліджень із даними досліджень інших авторів.

Основні положення та результати дисертаційної роботи апробовані на авторитетних науково-технічних конференціях і впроваджені на підприємствах України та у навчальному процесі Прикарпатського національного університету ім. Василя Стефаника.

За матеріалами дисертації опубліковано одну монографію, 33 статті у фахових журналах, збірниках наукових праць і матеріалах конференцій, а також 1 патент. Серед них 8 публікацій у виданнях, що входять до наукометричної бази даних Scopus.

Зміст автореферату повністю відповідає основним положенням дисертаційної роботи.

В докторській дисертаційній роботі не використовуються результати досліджень кандидатської дисертаційної роботи.

Зауваження до дисертації та автореферату.

- Для запропонованих методів аналізу зображень при визначенні параметрів неоднорідностей не враховувався вплив навантажень на досліджуваний зразок.
- Не розглянуто вплив форми поверхні деталей та механізмів, яка може бути як опуклою так і увігнутою і відображатиметься на зображенні зі спотвореннями, що може мати значення при обчисленні відстаней і тим самим впливати на значення характеристик точкових полів.
- Потребує детальнішого обґрунтування класифікація пітінгів на стабільні та метастабільні на основі їх глибини для дослідження існування взаємодії між ними.
- При виконанні конкретних експериментальних досліджень кількість випробуваних зразків слід було б збільшити з метою перевірки повторюваності результатів.

В цілому наведені зауваження не зменшують наукового рівня роботи та її практичного значення і більш відносяться до побажань розвитку цього напрямку досліджень у майбутньому.

Висновок

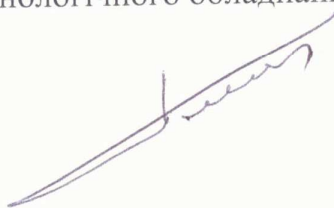
Дисертаційна робота Косареви́ча Р.Я. із урахуванням актуальності вирішених у роботі завдань, наукової новизни отриманих результатів і

можливості їх практичного використання є закінченим науковим дослідженням, що містить раніше не захищені наукові положення та практичні результати у галузі діагностування матеріалів і конструкцій, які у сукупності розв'язують науково-прикладну проблему розроблення методів аналізу оптичних зображень неоднорідностей на поверхні матеріалу для моніторингу технічного стану об'єктів.

Наведені у роботі наукові положення, технічні рішення й узагальнюючі висновки повністю висвітлені у фахових наукових виданнях, пройшли відповідну апробацію та були схвалені на наукових конференціях, автор отримав також патент на винахід на представлену у дисертації розробку.

За змістом, обсягом та структурою дисертаційна робота “ Розроблення методів аналізу оптичних зображень неоднорідностей на поверхні матеріалу для моніторингу технічного стану об'єктів ”, подана на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук, задовольняє вимогам ДАК МОН України і відповідає паспорту спеціальності 05.02.10 – діагностика матеріалів і конструкцій, а її автор Косаревич Ростислав Ярославович, заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук.

Офіційний опонент,
завідувач кафедри підйомно-транспортних машин та
інжинірингу портового технологічного обладнання
Одеського національного
морського університету,
д. т. н., професор



Пустовий В.М.

Підпис д.т.н., проф. Пустового В.М. засвідчую,
вчений секретар Одеського національного
морського університету



Коробко Т.О.