

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ**

**ВОВКОВИЧ МИХАЙЛО ВОЛОДИМИРОВИЧ
РУБАХА ОЛЕКСАНДР ВІКТОРОВИЧ**

УДК 681.3 (07)

**РОЗРОБЛЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ
КРИТИЧНОГО РОЗКРИТТЯ ВЕРШИНИ ТРІЩИНИ ЗА ДАНИМИ
ЧИСЕЛЬНОГО АНАЛІЗУ ФРАКТОГРАМ**

Спеціальність 8.05020201 – Автоматизоване управління технологічними процесами

АВТОРЕФЕРАТ
дипломної роботи (комплексної) на здобуття освітнього
рівня «магістр»

Тернопіль – 2017

Робота виконана на кафедрі автоматизації технологічних процесів і виробництв факультету прикладних інформаційних технологій та електроінженерії Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник:

Завідувач кафедри автоматизації технологічних процесів і виробництв, доктор технічних наук, професор
Марущак Павло Орестович
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Рецензент:

доктор технічних наук, професор кафедри КТ
Стухляк Петро Данилович,
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Захист відбудеться «20» лютого 2017 р. о 9.00 год. на засіданні екзаменаційної комісії у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя

Завідувач кафедри автоматизації технологічних процесів і виробництв, д.т.н., проф.

П.О. Марущак

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Сучасна технічна діагностика є однією з найбільш високотехнологічних галузей наукової та практичної діяльності, найважливіше завдання якої полягає в розробці нових ефективних методик ранньої дефектоскопії та дефектометрії дефектів та пошкоджень матеріалів і конструкцій. Кілька останніх десятиліть характеризуються значним проривом в технічній оснащеності діагностики. Комп'ютерний аналіз зображень став основним інструментом технічних діагностичних систем, що дозволяє істотно підвищити якість діагностики. Найбільш активно інформаційні технології впроваджуються в дефектоскопію. В даний час в багатьох країнах інтенсивно використовується підхід кількісної оцінки зображень тріщин та пор для виявлення їх впливу на залишкову довговічність конструкцій.

У цьому плані важливим є розроблення моделей, які дозволяють враховувати вплив експлуатаційних факторів на зміну циклічної тріщиностійкості матеріалів в процесі її експериментального визначення. Значний вклад у розв'язання проблеми автоматизованого вимірювання розкриття вершини тріщини зробили такі вчені як: Панасюк В.В., Никифорчин Г.М., Ясній П.В., Панін С.В., Бурков М.В., Бяков А.В., Любутин П.С., Гуцайлюк В.Б., Окіпний І.Б., Сорочак А.П., Баран Д.Я. До найвідоміших програмних продуктів, які розв'язують питання даного напрямку, належать системи, які розроблені фірмами SIAMS [1], PACE Technologies [2], ВідеоТест [3] та ін. У більшості з цих систем під час обробки та аналізу зображень є присутнім етап, під час якого вхідне напівтонове чи кольорове металографічне зображення перетворюють у бінарне і на основі цього визначають геометрію шуканих об'єктів, тощо.

Виявлено, що основними недоліками існуючих методів є: низька роздільна здатність; обмеження за класом аналізованих об'єктів і матеріалів; невисока чутливість; витрати на виготовлення і експлуатацію технічних засобів вимірювання. Крім цього, істотною проблемою є автоматизація вимірювань при обробці великої кількості експериментальних даних, що й спричинило необхідність створення нових методів і засобів оцінки розкриття у вершині тріщини.

В роботі розроблено теоретико-експериментальний автоматизований підхід щодо визначення циклічної тріщиностійкості матеріалів на основі вимірювання максимального розкриття вершини тріщини і на цій основі прогнозування довговічності конструкційних матеріалів.

Метою цієї роботи є розробка алгоритмів і програмних засобів аналізу зображень поверхні зламів матеріалів одержаних методом електронної скануючої мікроскопії, що забезпечують підвищення точності визначення критичного розкриття вершини тріщини, а також здійснити вибір параметрів, що кількісно його характеризують. Крім того, необхідно зменшити обчислювальні витрати для аналізу зображень, а також знизити помилки визначення параметрів.

Дана магістерська робота направлена також на поглиблення знань у сфері розпізнавання (фрактограм).

Предметом дослідження є визначення залежності між параметрами зони витягування зразків обчисленими автоматизованим методом, механізмами її руйнування та розкриттям вершини тріщини.

Основні завдання дослідження: визначення автоматизованого методу неруйнівного контролю матеріалу, що дозволить обчислити параметри нелінійної механіки руйнування.

Методи дослідження: оптико-цифровий аналіз.

Апробація результатів дослідження. Основні положення досліджень магістерської роботи доповідались на «V Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів» (17-18 листопада 2016 року).

Наукова новизна основних теоретичних та практичних результатів дипломної магістерської роботи полягає в конкретизації оцінки залишкової тріщиностійкості конструкційних матеріалів з урахуванням напружено-деформованого стану в зоні перед руйнування на основі оптико-цифрового аналізу морфології зламів зразків.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості їх використання для аналізу способів і алгоритмів моделювання деформації, що дозволяють отримувати модельні зображення з заданими статистичними параметрами при забезпеченні високої точності оцінювання розкриття вершини тріщини.

Структура та обсяг роботи. Дипломна робота складається із вступу, семи розділів, висновків, переліку посилань із 99 літературних джерел, та 15 аркушів графічного матеріалу. Основний зміст викладено на 148 сторінках, робота містить 41 рисунок та 10 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність та доцільність проведення досліджень, можливість їх застосування для лабораторних та натурних досліджень.

В **першому розділі** проведено огляд, зокрема основну увагу приділено методам сегментації фактографічних зображень. Розглянуто:

- методи, що ґрунтуються на поняттях самоорганізації та ентропії;
- кластиризаційні підходи;
- локальні порогові методи;
- комбіновані атрибутивні алгоритми;

Всі ці методи є найпоширенішими та широковживаними, разом з тим вони містять як переваги, так і недоліки які систематизовано у роботі.

В **другому розділі** проведено опис методів випробувань зразків, описано основні принципи електронної мікроскопії, зокрема можливості базового програмного забезпечення мікроскопів РЕМ 106 И. Обґрунтовано оптимальні параметри процедури бінаризації, яка забезпечує приведення вихідного фактографічного зображення до зображення із бінарними значеннями функції інтенсивності (як правило 0 і 1). Це значно зменшує кількість інформації, яка

підлягає обробці. Результат цієї процедури залежить від умов бінаризації, які повинні забезпечувати відсутність спотворень, розривів меж, втрати деталізації, відсутність зашумленості та різноманітних спотворень зображення. Особливо актуальними вони є у випадку розв'язання задачі розпізнавання. Дослідження складається з наступних основних етапів: бінаризація оригінального чорно-білого зображення, його фільтрації та повторна бінаризація отриманого зображення.

В третьому розділі розвинуто методи оцінювання рельєфу фрактограм, для того щоб встановити положення тріщини відносно кожного пікселя визначали належність пікселя до поверхні тріщини чи до фону. Це завдання виконували за допомогою бінаризації. Аналіз тріщини поверхню зображень проводили з використанням програмного забезпечення, розробленого Коноваленком І.В., Марущаком П.О., який був попередньо протестований низці шаблонів.

У роботі використано підходи цифрової фотограмметрії, оскільки фотографічне зображення було у цифровій формі. Вхідною інформацією є багатовимірні дані опису складного об'єкта, що перебуває в атрибутивному багатовимірному просторі ознак. Тому однією з найважливіших задач є автоматизоване опрацювання багатовимірних топологічних даних з метою відтворення висоти локальних ділянок поверхні.

Для обчислення висоти рельєфних утворень дослідний зразок розміщують так, щоб аналізована ділянка поверхні була перпендикулярна до оптичної осі жорстко зафіксованої цифрової фотокамери, і отримують первинне зображення **I1**. Систему координат вибирають так, щоб осі X та Y лежали у площині аналізованої поверхні, а вісь Z співпадала з оптичною віссю фотокамери. Після цього зразок обертають навколо координатної осі Y на кут α ($5...20^\circ$) та при незмінних параметрах наближення камери отримують вторинне зображення аналізованої ділянки **I2**. Первинне та вторинне зображення (**I1** та **I2**) утворюють стереопару, на основі якої можна отримати інформацію про рельєф сфотографованої поверхні.

Кут повороту аналізованої поверхні змінювали з допомогою гоніометричного пристрою мікроскопу, тобто одержання псевдостереопари полягає у зміні нахилу предметного столика, обертанням його навколо своєї осі. З певними припущеннями такий вид зйомки можна назвати «псевдоконвергентним».

Пропонований підхід псевдостереоскопічного аналізу перевіряли на еталонних зразках з відомою висотою мікронерівностей, що дозволило уточнити, що відхилення вимірної висоти рельєфу від дійсних значень лежать у межах 5,0 - 10,0%. Це забезпечує застосування даного методу для аналізу геометричних нерівностей поверхні руйнування. Метод був використаний для дослідження морфології квазістатичного зламу і вимірювання висоти зони витягування зразків сталі 25X1M1Ф.

З метою визначення висоти нерівностей поверхні зразка виконували серію дискретних поворотів зразка навколо координатної осі Y з кроком $\alpha = 5, 10^\circ$. Після кожного повороту при незмінних параметрах наближення оптичної системи отримували одне вторинне зображення аналізованої ділянки (рис. 1).

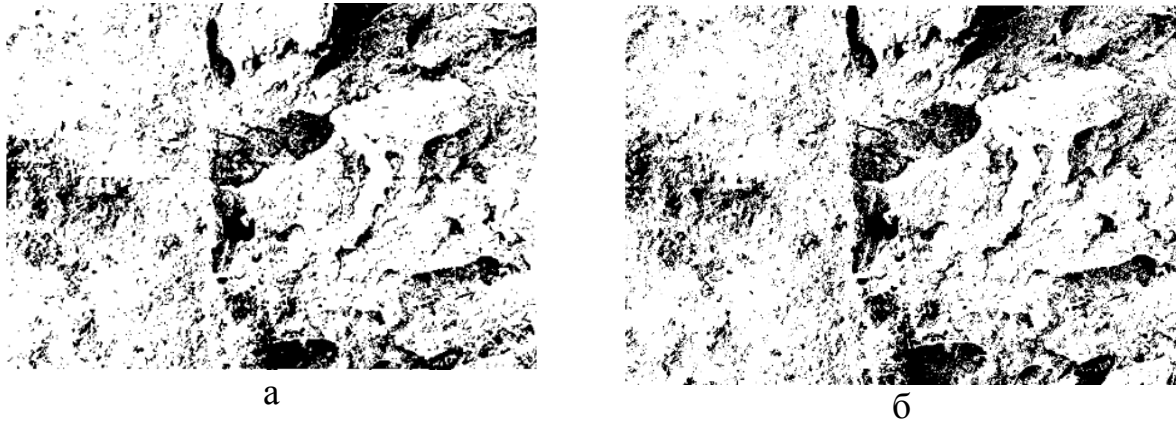


Рис. 2. Первинне, до повороту (а) та вторинне бінаризовані зображення після повороту на 10° (б) зображення поверхні зразка

Базове зображення **І1** та вторинні зображення, отримані при поворотах зразка (**І2, І3...**) вводять у ПК, запам'ятовують в окремих графічних файлах та передають у спеціалізовану програму для обробки за алгоритмом визначення мікронерівностей поверхні.

Таблиця 1. Дані одержані за алгоритмом стерео повороту бінаризованих зображень поверхні руйнування

| Відстань від вершини тріщини, пікс | Піврозкриття вершини тріщини, мкм |
|------------------------------------|-----------------------------------|
| 500 | 80 |
| 300 | 63 |
| 150 | 42 |
| 50 | 13 |
| 8 | 6 |

В четвертому розділі додатково досліджено обмеження введені І.В. Коноваленком для стереоскопічного контролю зон витягування, зокрема встановлено, що алгоритм містить такі кроки:

1. На зображенні 1 вибирали пару аналізованих точок А і В та запам'ятовували їх координати у пікселях X_{A1} і X_{B1} .
2. На зображенні 2 шукали положення точок А і В та запам'ятовують їх координати у пікселях X_{A2} і X_{B2} .
3. Розраховано висоту δZ_{AB} між точками А і В вздовж осі, яка співпадає з оптичною віссю мікроскопа і камери.

Отримане значення δZ_{AB} запам'ятовували у пам'яті ПК. З метою підвищення достовірності отриманого результату розраховують середнє значення висоти між точками:

Перехід від піксельної до метричної системи забезпечувався масштабуванням.

В п'ятому розділі оцінено економічну ефективність проекту, для цього обчислено:

1) економічні параметри (показники прибутковості, рентабельності, окупності тощо);

2) науково – технічні параметри (новизна, корисність, технічний рівень, радикальність, можлива широта застосування тощо);

3) соціальні параметри (значимість для якості життя населення).

В шостому та сьомому розділах описано заходи з охорони праці, безпеки життєдіяльності та екології.

Висновки

Вдосконалено алгоритм роботи стереоскопічного аналізу, що ґрунтується на принципі стереоповороту і подальшому обчисленні висоти зони витягування, що дозволяє виявляти і кількісно характеризувати області локалізації розкриття вершини тріщини.

Запропоновано алгоритм автоматизованого аналізу зображень ділянок зображень поверхні одержаних з використанням растрового мікроскопу РЕМ-106И, застосування якого дозволяє істотно підвищити точність визначення локальних деформацій і забезпечити фізичну коректність результатів розрахунку.

Запропоновано методику обробки зображень ямок відриву, що забезпечує істотно зменшити помилки обчислення їх форми, ефективність застосування якої підтверджується результатами досліджень серій модельних і експериментальних зображень.

Одна з переваг запропонованого методу полягає в тому, що тепер на етапі бінарної обробки усунуто суб'єктивний фактор, що дозволяє порівнювати результати аналізу фрактографічних зображень різної природи. Запропонований у роботі підхід буде корисним при аналізі металографічних та фрактографічних зображень, при обчисленні параметрів їх морфологічного рельєфу, виділенні країв, геометричному аналізі дефектів.

Анотація

Тема: «Розроблення автоматизованого методу визначення критичного розкриття вершини тріщини за даними чисельного аналізу фрактограм»

Магістерська робота (комплексна): 148 с. пояснювальної записки, 15 аркушів графічного матеріалу, 98 літературних джерел.

Об'єкт дослідження: зображення зламів зразків, одержані на растровому електронному мікроскопі.

Метою роботи є розроблення такого автоматизованого методу оцінки руйнування матеріалу, який буде одночасно недороговартісним, ефективним та нескладним у використанні, тобто таким, що зможе принести користь навіть не надто досвідченим у цьому питанні спеціалістам.

Методи дослідження: оптико-цифровий аналіз.

У магістерській роботі розв'язано задачу розроблення автоматизованого методу оцінювання критичного розкриття вершини тріщини за даними

чисельного аналізу фрактограм. Значну увагу приділено розробці моделей оптико-цифрового аналізу морфології зламу втомного поширення тріщин з використанням енергетичного та деформаційного підходів, що забезпечило їх зручне практичне застосування саме через оптимізацію математичного алгоритму і їх реалізації на конкретних інженерних задачах.

Одержані результати дозволили створити автоматизований алгоритм оцінювання процесів руйнування в околі вершини тріщини, що створює умови для уточнення параметрів пружно-пластичного деформування в цій зоні.

Для кількісного фактографічного дослідження морфологічні об'єкти виявлені на зламах зразків зведено до малої кількості основних геометричних типів, так як для кожного типу, незалежно від специфічних ознак структури і типу структурних складових, можна визначити характерні параметри структури і для їх аналізу використовувати одні і ті самі принципи вимірювання і обробки даних.

Проведено імітаційне моделювання процесу аналізу тестових фактографічних зображень із сколами та ямками в'язкого відриву різної форми та порівняння результатів відновлення з результатами, одержаними відомими методами. Оцінено економічну ефективність проекту та запропоновано заходи з охорони праці, безпеки життєдіяльності та охорони довкілля.

Summary

Theme: "Development of automated method for determining critical crack tip opening according to numerical analysis of SEM images"

Master's thesis: 148 pages. explanatory note, 15 pages of graphic material, 98 references.

The object of study: the image breaks samples obtained in scanning electron microscope.

The aim is to develop this automated method for assessing material destruction, which will be simultaneously nedorohovartisnym, effective and easy to use, that is, one that will benefit even not very experienced in this matter experts.

Methods: opto-digital analysis.

In the master's work the problem of developing automated evaluation method of the critical crack tip opening according to numerical analysis fracture images. Special attention is paid to the development of models opto-digital morphology analysis of fracture propagation of fatigue cracks using the power strain and approaches that ensure their convenient practical application because of optimization mathematical algorithms and their implementation in specific engineering problems.

The results helped to create an automated algorithm evaluation processes of destruction in the vicinity of the crack tip, which creates conditions for specification parameters elastic-plastic deformation in the area.

For quantitative factual quantitative morphological study objects discovered in samples kinks reduced to a small number of basic geometric types, as each type, regardless of the specific features of the structure and the type of structural

components can be defined characteristic parameters and structure for their analysis using one and the very principles of measurement and data processing.

A simulation analysis process fracture images with chipped and holes viscous separation of different shapes and recovery compare results to those from known methods. Reviewed the economic efficiency of the project and proposed measures for safety, life safety in environment.