



I. М. Журавель

Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів, Україна

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО АНАЛІЗУ МЕТАЛОГРАФІЧНИХ І ФРАКТОГРАФІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Результати моніторингу стану об'єктів в біології, медицині, дистанційному зондуванні Землі, матеріалознавстві доволі часто подаються у вигляді цифрових зображень. Здебільшого такі зображення характеризуються недостатньою візуальною якістю, мають великі розміри, містять велику кількість однотипних деталей складної форми тощо. Задачі оброблення та аналізу цих зображень є проблемно орієнтованими і потребують індивідуального підбору методів та алгоритмів для кожної предметної області. У цій роботі за таку предметну область вибрано матеріалознавство, металографічні та фрактографічні зображення. Спільним недоліком відомих систем оброблення зображень у металографії та методів, на підставі яких вони створені, є низький рівень автоматизації, велика кількість налаштувань, необхідність постійного контролю з боку оператора, обмеженість функціональних можливостей аналізу складних зображень, що загалом негативно впливає на ефективність вирішення спеціалізованих задач кількісної металографії. Для усунення цих недоліків розроблено нові методи опрацювання та оцінювання кількісних характеристик структурних складників візуальних даних. На цій основі побудовано інформаційну технологію, яка характеризується підвищеним рівнем автоматизації, швидкодії та точності аналізу металографічних і фрактографічних зображень.

Ключові слова: мікроструктура матеріалу; аналіз зерен.

Вступ. Упродовж останнього десятиліття значну увагу приділяють методам оброблення двовимірних інформаційних масивів, які інтегровані у різноманітних комп'ютеризованих системах. Вони мають здебільшого універсальний характер та не враховують специфіки конкретної галузі. Як наслідок, у разі їх застосування аналіз зображень здійснює людина-оператор. Це призводить до виникнення помилок через наявність людського фактору та не дає змоги обробляти зображення в реальному масштабі часу. Тому доцільно є розробити комп'ютеризовану систему, яка забезпечить автоматизацію оброблення, аналізу та розпізнавання зображень у заданій прикладній галузі. Враховуючи наукомістний характер цієї системи, її ефективне розроблення неможливе без використання сучасних інформаційних технологій.

Аналіз відомих систем оброблення зображень у металографії (MVG (США), AxioVision Grains (Німеччина), "Thixomet" (Україна) та ін.) виявив низку спільних недоліків та окреслив шляхи їх вирішення. Серед них виділимо такі: підвищення інформативності та усунення геометричних спотворень на зображеннях, що особливо актуально для задач метричних вимірювань; оптимальний вибір порогу бінаризації в задачах виділення об'єктів на зображеннях зі складною структурою; визначення геометрії об'єктів на зображеннях у задачах метричного аналізу; виділення та обчислення ознак об'єктів, інваріантних до процесу формування зображень; усунення суб'єктивного людського фактору через підви-

щення автоматизації оброблення та аналізу зображень.

Ці проблеми є актуальними у багатьох прикладних галузях. У цій роботі досліджено задачі оброблення та аналізу металографічних і фрактографічних зображень. Актуальність вибору цієї галузі зумовлена тим, що більшість відповідальних металоконструкцій, таких як мости, крани, корпуси літаків вже вичерпали свій ресурс роботи, або підходять до його завершення. Зміна структури матеріалу є однією з основних причин деградації та руйнування конструкцій. Розроблення методів аналізу зображень мікроструктури матеріалу металоконструкцій дасть змогу контролювати їх та передбачати передаварійний стан.

Матеріали та методи дослідження. Проаналізуємо розроблені у роботі методи оброблення металографічних зображень та їх структурних складників (Vorobel & Zhuravel, 2004; Zhuravel & Vorobel, 2007; Zhuravel & Svirska, 2010; Zhuravel & Maksymovych, 2018). Основну увагу під час розроблення методів приділено можливості їх автоматизації, необхідності проведення налаштувань та отриманій точності опрацювання.

Розроблений метод усунення геометричних спотворень на підставі перетворення Хафа (Vorobel & Zhuravel, 2004), на відміну від відомих підходів з використанням опорних точок, забезпечує автоматичне коригування геометрії зображень. Результатом усунення геометричних спотворень є підвищення точності метричних вимірювань мінімально на 5 %, залежно від характерис-

Інформація про автора:

Журавель Ігор Михайлович, канд. техн. наук, ст. наук. співробітник, доцент. Email: izhuravel@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0003-1114-0124>

Цитування за ДСТУ: Журавель І. М. Інформаційна технологія автоматизованого аналізу металографічних і фрактографічних зображень. Науковий вісник НЛТУ України. 2018, т. 28, № 10. С. 120–123.

Citation APA: Zhuravel, I. M. (2018). Information technology for automated analysis of metallographic and fractographic images. *Scientific Bulletin of UNFU*, 28(10), 120–123. <https://doi.org/10.15421/40281023>

тик оптичних пристроїв. Розроблений метод бінаризації з оптимальним порогом (Zhuravel & Svirska, 2010) забезпечив автоматичний вибір порогу бінаризації зображення, що усунуло суб'єктивізм у виборі цього параметра. Метод обчислення фрактальної розмірності з використанням поверхневого інтегралу (Zhuravel & Vorobel, 2007) є більш чутливим до невеликих змін інтенсивності зображення, володіє вищою, ніж у аналогів, деталізацією опрацювання та забезпечує на 17 % меншу похибку при локалізації об'єктів інтересу на зображеннях. Він дає змогу проводити обчислення в автоматичному режимі. Метод визначення усереднених діаметрів зерен металів (Zhuravel & Svirska, 2010) дає змогу проводити обробку в автоматичному режимі без необхідності інтерактивного редагування меж зерен. При цьому похибка обчислення становить 6 %. Метод кількісного оцінювання видовженості та орієнтування зерен металу на металографічному зображенні порівняно з аналогами забезпечує можливість автоматичного опрацювання та дає змогу обробляти бінарні зображення з розривними межами зерен. Метод моделювання меж зерен металу за допомогою діаграм Вороного (Zhuravel & Maksymovych, 2018) дає змогу моделювати зеренну структуру матеріалу, при цьому точність моделювання, порівняно з еталонними зображеннями, становить 5,7 %.



Рис. 1. Інформаційна технологія аналізу металографічних і фрактографічних зображень

Відмінною рисою побудованої інформаційної технології (див. рис. 1) є те, що її основу становлять розроблені методи (Vorobel & Zhuravel, 2004; Zhuravel & Vorobel, 2007; Zhuravel & Svirska, 2010; Zhuravel & Maksymovych, 2018), які забезпечують автоматизоване опрацювання зображень та вищу точність оброблення порівняно з аналогами.

Програмно-апаратні засоби інформаційної системи оброблення та аналізу металографічних і фрактографічних зображень. Інформаційна система – це сукупність технічних засобів для формування металографічних і фрактографічних зображень, їх аналізу та представлення обробленої інформації. Структура інформаційної системи включає апаратне та програмне забезпечення.

Основними компонентами апаратного забезпечення інформаційної системи є засоби формування зображень, комп'ютер та пристрої вводу-виводу. Засоби формування зображень складаються із металографічного мікроскопу та пристроїв фотофіксації. Для забезпечення роботи апаратної частини та виконання поставлених завдань потрібна сукупність програм, яка становить програмне забезпечення. Програмне забезпечення поді-

ляють на системне та прикладне. Основою системного забезпечення є операційна система, яка організовує процеси перероблення інформації в комп'ютері. Прикладне програмне забезпечення вирішує функціональні завдання користувачів.

Аналіз ефективності розробленої інформаційної технології оброблення та аналізу металографічних і фрактографічних зображень. Для аналізу розробленої інформаційної технології оброблення та аналізу металографічних і фрактографічних зображень сформуємо критерії, згідно з якими буде оцінюватися її ефективність. За такі критерії вибрано автоматизований режим роботи, точність обчислень та швидкодія методів опрацювання та аналізу зображень.

Автоматизація. Розвиток методів опрацювання та аналізу має відбуватися не лише у напрямку розширення їх можливостей, але й у напрямку автоматизованої чи автоматичної роботи, що робить їх зручними у використанні дослідниками, які не знайомі зі всіма тонкощами інформаційних технологій.

Точність обчислень. Однією з передумов коректного аналізу зображень та прийнятих цій основі рішень є точність обчислень, які проводяться окремими метода-

ми. При оцінюванні точності вимірювань деяких методів за сталонні використано зображення об'єктів з відомими параметрами.

Швидкодія. Під підвищенням швидкодії стосовно досліджень у металографії будемо розуміти істотне, у декілька разів, зменшення часу опрацювання, необхідного для отримання одного і цього ж результату. Для прикладу, при ручному обчисленні усередненого діаметра зерен металу за їх металографічним зображен-

ням необхідний час, який вимірюється годинами. Вирішення цієї ж задач за допомогою розроблених у роботі методів займає до хвилини часу.

Наведемо результати аналізу розробленої інформаційної технології оброблення та аналізу металографічних і фрактографічних зображень згідно з розробленими вище критеріями – автоматизації, точності та швидкодії (рис. 2).

		Автоматизація	Точність	Швидкість
Інформаційна технологія попередньої обробки та корекції геометричних спотворень	Усунення геометричних спотворень	✓	✓	✓
	Обчислення фрактальної розмірності		✓	
Інформаційна технологія виділення та вимірювання ознак	Бінаризація з оптимальним порогом	✓		
Інформаційна технологія локалізації об'єктів інтересу	Обчислення усередненого діаметру зерен металу	✓		✓
	Орієнтування та видовження зерен металу	✓		✓
	Моделювання меж зерен	✓		✓
	Уточнення при обчисленні усередненого діаметра		✓	

Рис. 2. Аналіз розробленої інформаційної технології оброблення та аналізу металографічних і фрактографічних зображень

Висновок. Отже, результатом проведених досліджень є побудова нової інформаційної технології, складові частини якої характеризуються підвищеним рівнем автоматизації, швидкодії та точності аналізу металографічних і фрактографічних зображень, що досягнуто шляхом розроблення нових способів кількісного оцінювання геометрії та розподілу елементів їх мікроструктури.

Перелік використаних джерел

Hrytsiuk, Yu. I., & Nemova, E. A. (2018). Peculiarities of Formulation of Requirements to the Software. *Scientific Bulletin of UNFU*, 28(7), 135–148. <https://doi.org/10.15421/40280727>

Vorobel, R. A., & Zhuravel, I. M. (2004). Metod kalibruvannia tsyfrovyykh videokamer na osnovi peretvoren Khafa. *Selection and processing of information*, 21(97), 57–62. [In Ukrainian].
 Zhuravel, I. M., & Maksymovych, V. M. (2018). Quantitative analysis of orientation and elongation of grains on metallographic images using hough transformations. *Scientific Bulletin of UNFU*, 28(5), 135–139. <https://doi.org/10.15421/40280528>
 Zhuravel, I. M., & Svirskaya, L. M. (2010). Measurement of the mean grain size in a metal by using fractal dimensions. *Materials Science*, 46(3), 418–420.
 Zhuravel, I. M., & Vorobel, R. A. (2007). Obchyslennia fraktalnykh rozmirnostei z vykorystanniam poverkhnivogo intehrala. *Selection and Processing of Information*, 26(102), 95–98. [In Ukrainian].

И. М. Журавель

Национальный университет "Львовская политехника", г. Львов, Украина

ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО АНАЛИЗА МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИХ И ФРАКТОГРАФИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Результаты мониторинга состояния объектов в биологии, медицине, дистанционном зондировании Земли, материаловедении довольно часто представляются в виде цифровых изображений. В основном такие изображения характеризуются недостаточным визуальным качеством, имеют большие размеры, содержат большое количество однотипных деталей сложной формы и т.д. Задачи обработки и анализа этих изображений являются проблемно ориентированными и требуют индивидуального подбора методов и алгоритмов для каждой предметной области. В данной работе за такую предметную область нами избраны материаловедение, металлографические и фрактографические изображения. Общим недостатком известных систем обработки изображений в металлографии и методов, на основе которых они созданы, является низкий уровень автоматизации, большое количество настроек, необходимость постоянного контроля со стороны оператора, ограниченность функциональных возможностей анализа сложных изображений, что в целом негативно влияет на эффективность решения специализированных задач количественной металлографии. Для устранения этих недостатков разработаны новые методы обработки и оценки количественных характеристик структурных составляющих визуальных данных. На этой основе пос-

троена інформаційна технологія, яка характеризується підвищеним рівнем автоматизації, швидкодії та точності аналізу металлографічних і фрактографічних зображень.

Ключевые слова: мікроструктура матеріала; аналіз зерен.

I. M. Zhuravel

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

INFORMATION TECHNOLOGY FOR AUTOMATED ANALYSIS OF METALLOGRAPHIC AND FRACTOGRAPHIC IMAGES

The results of the monitoring of the status of objects in biology, medicine, remote sensing of the Earth and material science are often presented in the form of digital images. Such images are mostly characterized by insufficient visual quality and large size, and contain many similar details of complex shape, etc. The tasks of processing and analysis of these images are problem-oriented and require the individual selection of methods and algorithms for each subject area. Materials science, metallographic and fractographic images are selected for this subject area in this work. The common disadvantage of well-known image processing systems in metallography and the methods on which they are based are the low level of automation, large number of settings, the need for constant control by the operator, the limited functionality of the analysis of complex images, which generally adversely affects the efficiency of the solution of specialized quantitative problems metallography. To overcome these shortcomings, new methods for working out and estimating the quantitative characteristics of structural components of visual data have been developed. Among them we will allocate the following: the method of eliminating geometric distortions based on the Hough transform has been developed, which provides automatic correction of image geometry and increase of accuracy of metric measurements. To eliminate subjectivity in choosing the threshold of binaryization of the image, a binaryization method with an optimal threshold is constructed. The method of determining the averaged diameters of the grain of metals enables us to perform processing in an automatic mode without the need for interactive editing of grain boundaries. The method of quantitative estimation of elongation and orientation of metal grains on a metallographic image is developed, which, in comparison with analogues, provides the possibility of automatic processing and allows processing of binary images with discontinuous grain boundaries. Based on these methods, an information technology is constructed that is characterized by increased level of automation, speed and precision of the analysis of metallographic and fractographic images.

Keywords: microstructure of the material; grain analysis; digital image; fractographic image.