

## ГЛОБАЛЬНО-ЛОКАЛЬНИЙ МЕТОД ДЛЯ СЕГМЕНТАЦІЇ ТА АНАЛІЗУ ЗОБРАЖЕНЬ ЗЕРЕН МЕТАЛІВ

The method for automation of the image segmentation of the metal grains and estimation of their characteristics was offered. The aim of the application is to assist the experts in locating of potentially grain cases for further analysis. The researches are carried out on different types of grains to approve the correctness of the proposed approach.

**Key words:** *image segmentation, metal grains, Radon transformation.*

Запропоновано метод автоматизації сегментування зерен металу та оцінки їх характеристик. Метод розробленого програмного засобу є допомогою експертам під час визначення імовірних зерен для їх подальшого аналізу. Було проведено дослідження на різних типах зерен для апробації коректності запропонованого підходу.

**Ключові слова:** *сегментування зображення, зерна металів, перетворення Радона.*

Під час виробництва металу (виплавки, розливання у зливки, гарячої та холодної деформації, механічної обробки, зварювання, термічної обробки) формується структура, але одночасно виникають і частково “заліковуються” дефекти металургійного виробництва. Метою металографічного аналізу є виявлення дефектів, особливостей структури і, як наслідок, прогнозування поведінки металів в експлуатаційних умовах [1].

Металографічний аналіз охоплює стандартні випробування і експертне дослідження у заводських умовах. Структуру металів і сплавів вивчають на різному рівні, тому методи випробування розділяють на макро- і мікроскопічні [1, 2].

Макроскопічний аналіз передбачає вивчення зламів і макрошліфів неозброєним оком або з допомогою лупи. Так отримують інформацію про наявність дефектів і характер руйнування. Крім дефектів, під час первинного огляду зламів визначають характер руйнування (крихкий, в'язкий, крихков'язкий, в'язкокрихкий) і його особливості (внутрішньозернистий, міжзернистий).

Макроскопічна поведінка металу безпосередньо залежить від особливостей його мікроструктури. Зв'язок мікроструктури матеріалу із його фізичними і механічними властивостями, що подано у кількісній формі, дає змогу отримати простий і легкий для відтворювання метод контролю якості продукції. Мікроскопічний аналіз є основним у процесі дослідження структури матеріалів із металу. Його проводять на мікрошліфах на об'єкті невеликого розміру, що вирізаний із найбільш ослабленого або навантаженого перетину виробу.

**Аналіз розмірів зерен.** Аналіз розмірів зерен необхідний у будь-якій галузі промисловості, де виробляються або обробляються метали (чорні та кольорові), їхні сплави, сталь та неметалеві матеріали (наприклад, кераміка).

Для мікроскопічного аналізу сталі, як зазначено в стандарті ДСТУ ISO 643:2009 [3], потрібна спеціальна підготовка зразка, щоб розміри зерен стали видимими. Зразок шліфують, полірують і, у разі необхідності, протрують, використовуючи відповідні засоби. У цьому разі зерна в мікроскопічному зображенні проявляються у вигляді плоских ділянок, які відокремлюються від суміжних зерен досить чіткими границями. Зерно може складатися із однієї або кількох структурних складових конструкційної сталі (наприклад, аустеніту, фериту, перліту тощо). Бал зерна вимірюється, виходячи зі співвідношення розмірів зерен. Його розраховують із середньої кількості зерен, які припадають на  $1 \text{ мм}^2$  площі

мікрошліфа. Середній розмір зерна на площині мікрошліфа можна визначити різними способами [1, 2].

**Метод порівняння.** Порівняння з мікрознімками (еталонами) стандартних еталонних шкал, номер яких відповідає розміру зерна.

**Метод обчислення за площею.** Обчислення середньої кількості зерен на одиницю площі.

**Метод січних.** Обчислення кількості зерен або границь зерен, які перетинаються прямими або круглими лініями сітки вимірювання.

Систематичні дослідження залежності між станом мікроструктури та функціональними (механічними) властивостями сплавів дають підстави припускати, що для отримання за допомогою термомеханічного впливу виробів з необхідними функціональними властивостями необхідно автоматизувати процес класифікації мікроструктур. На відміну від звичайних методів, аналіз розмірів зерен із використанням систем аналізу зображень характеризується не тільки гнучкістю вимірювань, але й високою точністю і максимальною продуктивністю обробки зразків.

Окрім переваг методу контролю якості, кількісний підхід веде до глибшого розуміння явищ, що спостерігаються, їх причин та наслідків, особливо стосовно до макроскопічних, тобто найбільш важливих для практики поведінки металів. Мало того, кількісний підхід дає можливість виявити ту оптимальну структуру, яка найкраще відповідає умовам експлуатації матеріалу, та допомогти створювати нові сплави із заданим комплексом властивостей.

Методи аналізу, пов'язані із кількісною металографією, призначені для визначення:

- лінійних розмірів, площ перетину і периметрів перетину структурних складових і фаз;
- середніх радіусів сферичних частинок у матеріалі, що досліджується, та їхніх середніх об'ємів;
- об'ємної частки частинок (фаз) у матеріалі та їхньої питомої поверхні;
- розподілу частинок матеріалу за розмірами, оцінка кутів орієнтації протяжних фаз тощо;
- периметрів і площ перерізів виробів, дефектів у ньому, його складових частин.

Більшість із цих статистичних методів успішно застосовують і сьогодні, а принципи, що лежать у їх основі, використовують у сучасних обчислювальних пристроях. Для автоматизації процесу потрібно вирішити такі завдання: розпізнавання зерен на зображеннях мікрошліфів, визначення характеристик зерен, з'ясування взаємозв'язку між цими характеристиками і типом мікроструктури. Ця робота присвячена вирішенню перших двох кроків.

**Опис процедури сегментації і аналіз зерен.** Процедура сегментації та аналізу складається з таких кроків.

Крок 1. Читаємо зображення та здійснюємо його попередню обробку.

Зображення конвертується із RGB формату в багаторадаційне (у разі потреби). Оскільки металографічні зображення часто характеризуються нерівномірністю освітлення, тому здійснюється попередня обробка зображення, така як покращення контрасту тощо.

Крок 2. Бінаризація зображення.

Зображення конвертується у бінарне з метою підготовки до виділення контурів. Було протестовано кілька методів порогування (бінаризації) зображень і вибрано метод бінаризації Otsu, що є одним із найефективніших методів глобальної бінаризації (висока швидкість обробки та якість обробки дає до 30% і менше

помилки). Метод передбачає наявність на зображенні двох класів пікселів (фонової та нефонової). Використовуючи гістограму розподілу значень яскравостей пікселів растрового зображення, шукаємо оптимальний поріг, який розділяє ці два класи пікселів. До недоліків методу слід віднести “злипання об’єктів”, особливо у місцях перетину, розмиття ліній та втрату тонких ліній [4].

#### Крок 3. Знешумлення.

Метою цього кроку є видалення пікселів, які не належать до об’єктів інтересу, з допомогою різних морфологічних операцій, таких як “fill holes”, “dilation” тощо.

#### Крок 4. Пошук границь (виділення контурів).

Як детектор країв вибрано оператор Canny, оскільки він демонструє кращі характеристики виділення країв та одночасно є простим у реалізації [5].

Оскільки результатом роботи детекторів країв звичайно є короткі, нез’єднанні сегменти ліній, тому виникає потреба у методах виділення контурів. Є два головних типи таких методів: локальні і глобальні [6]. Поєднання результатів дасть змогу використати переваги обох типів методів.

За локальний метод детектування взято методи “жука” і слідування за контуром [6], що використовують чотири- і восьмизв’язність. Проте тут не всі контури ідентифікуються.

Як глобальний метод детектування сегментів ліній використано перетворення Радона (узагальнена форма загальновідомого перетворення Хафа) [7]. Цей метод застосовано для визначення сегментів ліній, якщо розриви між пікселами є великими (локальні методи є неефективними у цьому випадку). Як і всі глобальні методи, він є досить часомістким. Результати локального і глобального методів детектування об’єднуються за допомогою операції “AND”.

#### Крок 5. Вимірювання властивостей об’єкта (зерна) на зображенні.

Тут оцінюємо площу і центр об’єктів (зерен). Також обчислюємо інші статистичні властивості розпізнаних об’єктів на зображенні, зокрема площу, орієнтацію зерен, їх периметр та моменти тощо.

**Отримані результати.** Розроблений метод було апробовано на різних типах зображень металів. Приклад результатів роботи подано на рис. 1, де продемонстровано головні кроки роботи алгоритму: вхідне зображення (а), після бінаризації (б), краї (в), результати виділення контурів за допомогою локального методу детектування (слідування за контуром) (г) і глобального методу (перетворення Радона) (д) та їх сумісні результати (е). Як приклад вищезазначених оцінок і залежностей на рис. 2 подано гістограми площ (а) і орієнтацій зерен (б). Результати для іншого типу зерна металу наведено на рис. 3.

Перевірка результатів сегментації є необхідною для визначення точності проведеної сегментації. Для чисельного визначення результатів сегментації на поданих зображення експертом виділено  $m$  об’єктів та обчислено відсоток збігів найбільших сегментів всередині цих об’єктів. Для кількісної оцінки використано критерій Area-Fit-Index (AFI), що був представлений Lucieer [8] та визначається таким чином:

$$AFI = (S_{ref.object} - S_{largestsegment}) / S_{ref.object},$$

де  $S$  – площа у пікселях найбільших сегментів відповідно дійсного та сегментованого зображень. Якщо  $AFI = 0$ , то сегментація є ідеальною. Зображення є пересегментованим (“over-segmented”), якщо збіг менше, ніж 100%, і  $AFI$  більше, ніж 0. Зображення є недосегментованим (“under-segmented”), якщо збіг більше від 100% і  $AFI$  менше від 0.

Для зображень 1 і 3 результати обчислень подано у таблиці.

**Результати обчислень площі  $S$  та  $AFI$  для слідування за контуром ( $z$ ),  
перетворення Радона ( $\partial$ ) та їх сумісних результатів ( $e$ )**

Зображення	$S$ , пікс.				$AFI$ , %		
	Експерт	$z$	$\partial$	$e$	$z$	$\partial$	$e$
1	33529	38206	40107	37108	-13,94	-19,62	-10,67
3	21890	22043	23504	21782	-2,34	-7,37	0,49

Як бачимо, зображення 1 є недосегментовано, що викликано великою кількістю зерен складної форми на зображенні. Зображення 3 є незначно недосегментовано у випадку застосування локального та глобального методів детектування, а їх суміщення призводить вже до мінімальної (0,49%) пересегментації зображення.

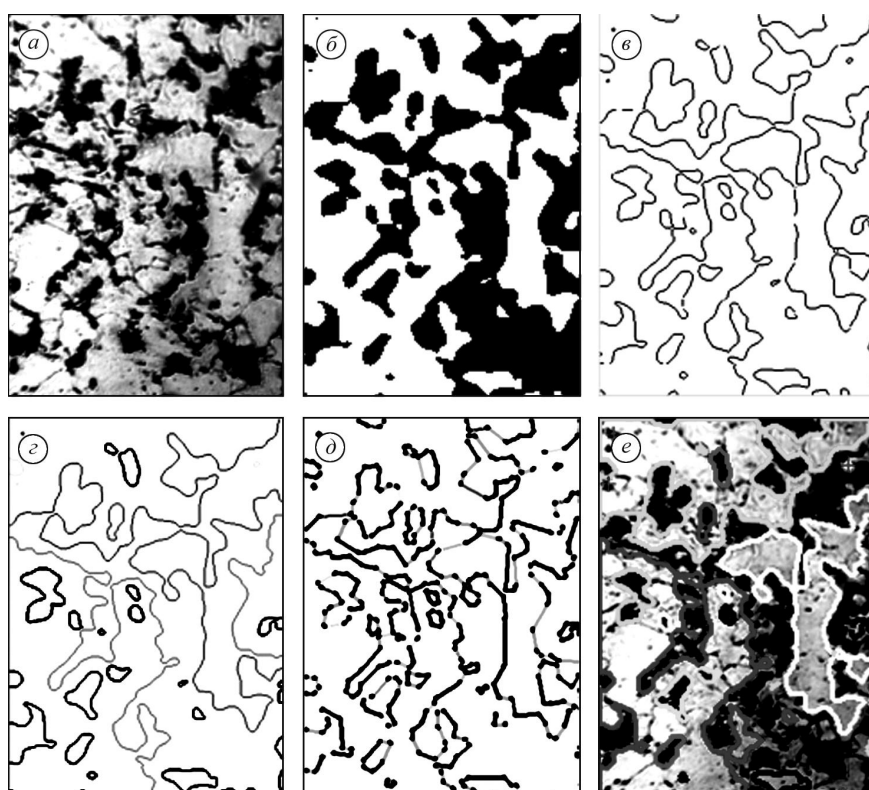


Рис. 1. Приклад поверхні металу ( $a$ ) та результати бінаризації ( $b$ ), оператора Санну ( $c$ ), слідування за контуром ( $z$ ), перетворення Радона ( $\partial$ ), сумісні результати ( $e$ ).

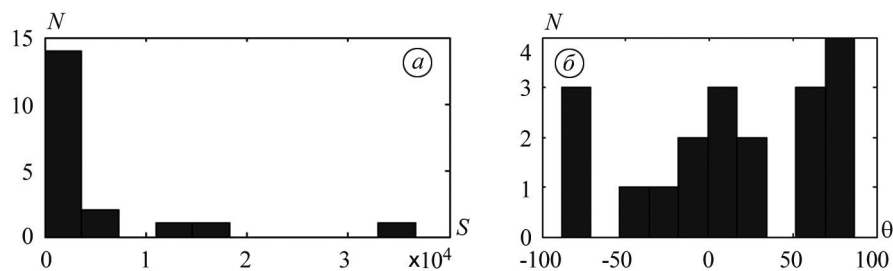


Рис. 2. Гістограма площі ( $a$ ) і орієнтації ( $b$ ) зерен металу на рис. 1а.

Сумісний алгоритм веде до отримання менших похибок сегментації. Слід зазначити, що оператор ще змушений у ручному режимі вносити поправки, оскільки існує велике розмаїття зерен. Для кращої автоматизації процесу та зменшення похибки сегментації у процесі сегментації та розпізнавання необхідно враховувати додаткові обмеження та відомості.

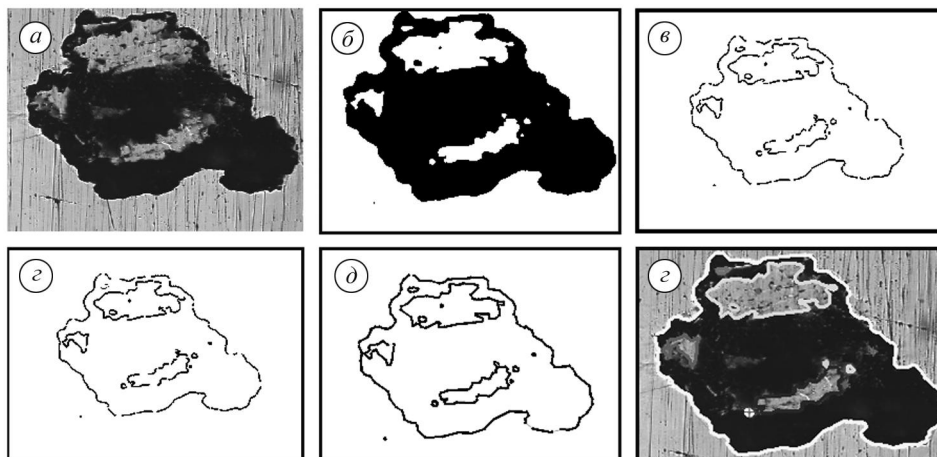


Рис. 3. Приклад поверхні металу (а) та результати бінаризації (б), оператора Canny (в), слідування за контуром (г), перетворення Радона (д), сумісні результати (е).

## ВИСНОВКИ

Було представлено сумісний метод сегментації зображень зерен металів і оцінки їх статистичних характеристик, який було протестовано на різних зображеннях металів, і який продемонстрував гарні результати. Він дає змогу отримати меншу похибку сегментації і розпізнавання, проте ще вимагає втручання експертів та додаткового удосконалення.

1. *Основы металлографии и пластической деформации стали* / Г. И. Бельченко, С. И. Губенко. – К.; Донецк: Вищ. шк. Головное изд-во, 1987. – 240 с.
2. *Metallography and Microstructures* // ASM Handbook, ASM Int., Materials Park, OH. –2005. –9.
3. *ДСТУ ISO 643:2009*. Сталі. Мікрографічний метод визначення видимого розміру зерна (ISO 643:2003, IDT). Набуває чинності з 01.01.2012 згідно з наказом № 477 від 28.12.2009 р.
4. *Otsu N.* A thresholding selection method from greylevel histogram // *IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics.* – 1979. – 9. – P. 62–66.
5. *Canny J. A.* Computational Approach to Edge-Detection // *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence.* – 1986. – № 8. – P. 679–698.
6. *Sonka M., Hlavac V., Boyle R.* Image Processing, Analysis, and Machine Vision, 3<sup>rd</sup> edition. ISBN 049508252X. – Thomson Learning, Toronto, 2007. – 821 p.
7. *Kobasyar M., Rusyn B.* The Radon transform application for accurate and efficient curve detection // *Intern. conf. on Signals and Electronic Systems, ICSES'2001.* – Poland: Lodz, 2001. – P. 117–120.
8. *Lucieer A.* Uncertainties in Segmentation and Their Visualisation // *PhD Thesis, Utrecht University, ITC Dissertation 113, Enschede.* – 2004. – P. 174.