

Висновки. Результати цього дослідження свідчать, що коефіцієнт Вілкса, який використовується у пауерліфтингу для визначення місць конкурсантів у загальному заліку, незалежно від ваги, не може вважатися об'єктивним через необгрунтоване домінування представників легких та важких вагових категорій. Дане дослідження представило новий аналіз для перетворення конкурсних результатів пауерліфтерів у одну шкалу з використанням логарифмічних коефіцієнтів, розрахованих на основі математичної та статистичної обробки даних попередніх змагань. Це дозволяє представникам найчисленніших вагових категорій посідати перші місця у загальному заліку. Запропоновані методи пошуку формули логарифмічного коефіцієнта на основі математичної моделі логарифмічної регресії дозволяють періодично уточнювати цей коефіцієнт на підставі оновлених даних результатів змагань пауерліфтерів.

Використовуючи аналогічні методи, можна визначити значення логарифмічних коефіцієнтів для різних категорій змагань (за статтю та віковими групами, окремі стендові пресові змагання, змагання з використанням або без використання спеціального обладнання тощо) у важкій атлетиці.

Ключові слова: пауерліфтинг, логарифмічна регресійна модель, формула логарифмічного коефіцієнта, загальна оцінка.

Одержано редакцією 15.02.2017
Прийнято до публікації 27.03.2017

УДК 519.6:004.8

PACS 02.60.-x, 02.60.Pn, 02.70.Wz

МОРОЗОВИЧ Владислав

Володимирович

Черкаський національний університет
імені Богдана Хмельницького, студент
e-mail: vladmorozua@gmail.com

ГОНДА Андрій Романович

Черкаський національний університет
імені Богдана Хмельницького, студент
e-mail: andriy.gonda@gmail.com

ЛЯШЕНКО Юрій Олексійович

Черкаський національний університет
імені Богдана Хмельницького, директор
ННІ інформаційних та освітніх технологій
доктор фіз.-мат. наук, доцент
e-mail: urico@ukr.net

ЗАСТОСУВАННЯ ПОПЕРЕДНЬОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ ІЗ РАСТРОВОГО ЕЛЕКТРОННОГО МІКРОСКОПА ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ СТРУКТУРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ*

Анотація. У роботі описано вплив попередньої обробки зображень чотирифазного зразка системи $Cu-Sn$, що отримані із растрового електронного мікроскопа, на аналіз структурних елементів. Попередня обробка зображень здійснювалася методами Гаусового та нерізкого розмиття. Описано алгоритм обробки зображень з застосуванням матричних

* Статтю написано у рамках прикладної держбюджетної теми МОН України “Синтез наноструктурованих сплавів за осцилюючих напружень та їх застосування в новій технології з'єднання мікроелектронних компонентів” (номер державної реєстрації: 0117U000577).

фільтрів. Проаналізовано доцільність використання кожного із методів попередньої обробки зображень для аналізу різного типу структурних елементів (розрахунку площ фаз та знаходження кількості і розрахунку розмірів структурних дефектів).

Ключові слова: методи обробки зображень, растрова електронна мікроскопія, Гаусове розмиття зображень, нерізде розмиття зображень.

Вступ

Методи обробки зображень є одним з пріоритетних напрямків науки і техніки. Це пояснюється тим, що зображення використовуються як засіб отримання візуальної інформації в системах спостереження, технічного зору, телебачення, автономних інтелектуальних системах і ін. Тому методи обробки візуальної інформації, що забезпечують підвищення візуальної якості сприйняття зображень, стиснення даних для зберігання і передачі по каналах зв'язку, а також аналіз, розпізнавання та інтерпретація зорових образів для прийняття рішення і управління поведінкою автономних технічних систем грають все більш важливу роль [1-2].

Будь-яка з процедур обробки та аналізу зображень містить у своїй структурі етап попередньої обробки, що включає згладжування, фільтрацію шумів, підвищення різкості і контрастності. Крім того, попередня обробка зображень включає в себе корекцію нелінійності датчика, яскравості, контрасту, усунення геометричних спотворень, виділення певних об'єктів відносно фону [3]. Часто, на даному етапі здійснюється корекція збурень в зображенні, розмитості зображення в результаті руху об'єкта, похибок від сенсорів або в ході передачі сигналів зображення. Ефективність етапу попередньої (первинної) обробки зображень спричинює значний вплив на результат наступних етапів обробки зображення, в т.ч. сегментацію, морфологічний аналіз і розпізнавання образів. Тому в системах візуалізації найбільший інтерес представляють дослідження в напрямку вдосконалення методів саме попередньої обробки зображень [4].

У процесі детектування в растровому електронному мікроскопі на корисний сигнал накладаються різноманітні шуми внаслідок розсіювання електронів на межах структурних елементів (наприклад, різних фаз досліджуваних сплавів) та об'ємних дефектах (наприклад, із-за розсіювання на топологічних нерівностях біля пор або тріщин). Тому застосування відповідних методів попередньої обробки зображень відіграє важливу роль для покращення аналізу різних типів структурних елементів та дефектів.

Основною метою роботи є дослідження впливу різних видів попередньої комп'ютерної цифрової обробки зображень зразків, що отримані на растровому електронному мікроскопі (далі РЕМ зображення), на результати аналізу цих зображень, а також безпосередня реалізація в єдиному додатку базових методів попередньої обробки та наступного аналізу РЕМ зображень.

1. Опис методів первинної обробки зображень

Обробка зображень відіграє значну роль в комп'ютерному аналізі цифрових зображень, зокрема в розпізнаванні фрагментів зображень. Варто зауважити, що в випадку розгляду зображення як двовимірного сигналу (коли зображення можна описати певною функцією значення якої залежить від двох просторових координат), важливим етапом в обробці зображень є виділення корисної інформації. Методи попередньої обробки дозволяють змінювати зображення таким чином, щоб вдосконалити виділення корисного сигналу.

Як відомо реальні сигнали можна представити в вигляді лінійної комбінації шуму та корисного сигналу. Однак в процесі виділення корисної інформації із сигналу виникає ряд труднощів. У випадку аналізу растрових цифрових зображень досить

широко використовують різноманітні алгоритми обробки зображень, зокрема фільтри згладжування та розмиття [4]. Для цього на практиці досить широко використовують матричні фільтри для перетворення зображень. Найбільш поширеним алгоритмом розмиття є так зване розмиття за Гаусом. Розмиття за Гаусом – фільтр для обробки зображень, що використовує нормальний розподіл (розподіл Гауса) для перетворення значень градації сірого кольору (далі ЗГСК) кожного пікселя зображення. Рівняння для застосування розподілу Гауса в 2D просторі має вигляд [5]:

$$G(u, v) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-(u^2+v^2)/(2\sigma^2)} \quad (1)$$

де u, v – відстані до пікселів по двох незалежних напрямках від вибраного пікселя, σ – стандартне відхилення розподілу Гауса. Для двовимірного випадку дана формула задає поверхню рівня, що має вигляд концентричних кіл.

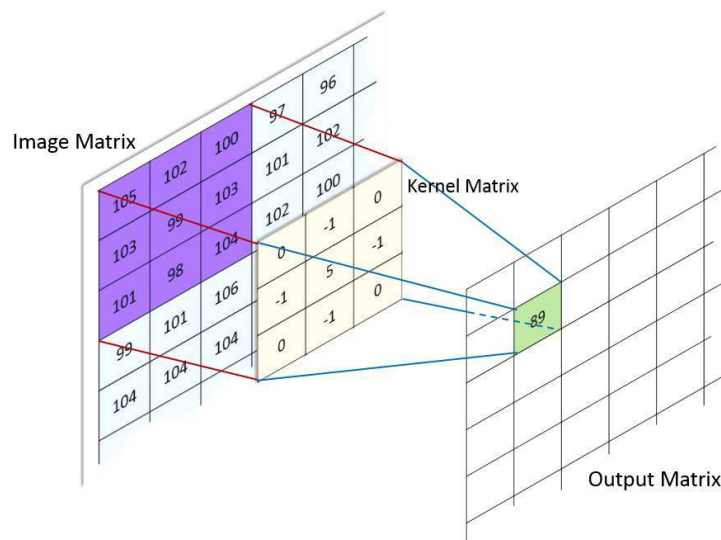


Рис.1. Схема впливу матричного фільтра на ЗГСК в вибраному елементі зображення [7]

Фільтр Гауса можна представити у вигляді матричного фільтра, розмірами $r \times r$ (зазвичай 3×3 чи 5×5), де r – радіус розмиття ($r^2 = u^2 + v^2$). Суть застосування матричного фільтра (див. рис. 1) полягає у почерговому застосуванні маски з матриці коефіцієнтів на відповідні значення градацій сірого кольору сусідніх пікселів та обрахунку їх нових значень [1]:

$$\frac{1}{256} \begin{bmatrix} 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \\ 4 & 16 & 24 & 16 & 4 \\ 6 & 24 & 36 & 24 & 6 \\ 4 & 16 & 24 & 16 & 4 \\ 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Приведемо методику розрахунку матриці для фільтру нерізкого розмиття. Нехай деяка функція $f(x, y)$, $0 \leq x < X_{width}$, $0 \leq y < Y_{height}$ є образом цифрового зображення. Здійснимо згортку зображення $f(x, y)$ з використанням фільтру Гауса (2), наприклад,

з розміром матриці 5×5 . Отриманий образ будемо позначати $\bar{f}(x, y)$ (тут отримуємо зображення, що розмите за нормальним законом). Операцією виділення контурів зображення називають таку операцію:

$$f_{\text{sharpen}}(x, y) = f(x, y) - \bar{f}(x, y) \quad (3)$$

Зворотною операцією до виділення контурів (так зване нерізде розмиття) можна назвати таку операцію:

$$g_{\text{unsharpen}}(x, y) = f(x, y) + k \cdot f_{\text{sharpen}}(x, y), \quad (4)$$

де k - деякий коефіцієнт, що вказує на тип фільтрації (для регулярного нерізде розмиття $k=1$). Побудуємо матричний оператор ядра згортки для нерізде розмиття при $k=1$. Для побудови матричного оператора ядра згортки використаємо оператор тотожного відображення зображення. У випадку розмірності матриці ядра згортки 5×5 даний оператор має вигляд:

$$\hat{F} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} * = \frac{1}{256} \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 256 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} *, \quad (5)$$

де $*$ - операція згортки.

Матричний оператор згортки з використанням матриці ядра фільтра Гауса для розмірності 5×5 має вигляд:

$$\hat{F}^{\text{Gauss}} = \frac{1}{256} \begin{pmatrix} 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \\ 4 & 16 & 24 & 16 & 4 \\ 6 & 24 & 36 & 24 & 6 \\ 4 & 16 & 24 & 16 & 4 \\ 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \end{pmatrix} * \quad (6)$$

Оператор виділення контурів можна виразити таким чином:

$$\begin{aligned} \hat{F}^{sharpen} = \hat{F} - \hat{F}^{Gauss} &= \frac{1}{256} \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 256 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} * -\frac{1}{256} \begin{pmatrix} 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \\ 4 & 16 & 24 & 16 & 4 \\ 6 & 24 & 36 & 24 & 6 \\ 4 & 16 & 24 & 16 & 4 \\ 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \end{pmatrix} * = \\ &= \frac{1}{256} \begin{pmatrix} -1 & -4 & -6 & -4 & -1 \\ -4 & -16 & -24 & -16 & -4 \\ -6 & -24 & 220 & -24 & -6 \\ -4 & -16 & -24 & -16 & -4 \\ -1 & -4 & -6 & -4 & -1 \end{pmatrix} * \end{aligned} \quad (7)$$

Побудуємо оператор регулярного нерізкого розмиття

$$\begin{aligned} \hat{G}^{unsharpening} = \hat{F} + \hat{F}^{sharpen} &= \frac{1}{256} \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 256 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} * + \frac{1}{256} \begin{pmatrix} -1 & -4 & -6 & -4 & -1 \\ -4 & -16 & -24 & -16 & -4 \\ -6 & -24 & 220 & -24 & -6 \\ -4 & -16 & -24 & -16 & -4 \\ -1 & -4 & -6 & -4 & -1 \end{pmatrix} * = \\ &= \frac{1}{256} \begin{pmatrix} -1 & -4 & -6 & -4 & -1 \\ -4 & -16 & -24 & -16 & -4 \\ -6 & -24 & 476 & -24 & -6 \\ -4 & -16 & -24 & -16 & -4 \\ -1 & -4 & -6 & -4 & -1 \end{pmatrix} * = \frac{-1}{256} \begin{pmatrix} 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \\ 4 & 16 & 24 & 16 & 4 \\ 6 & 24 & -476 & 24 & 6 \\ 4 & 16 & 24 & 16 & 4 \\ 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \end{pmatrix} * \end{aligned} \quad (8)$$

Отже матриця для первинної обробки зображень методом нерізкого розмиття приймає вигляд:

$$\frac{-1}{256} \begin{bmatrix} 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \\ 4 & 16 & 24 & 16 & 4 \\ 6 & 24 & -476 & 24 & 6 \\ 4 & 16 & 24 & 16 & 4 \\ 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

Покажемо, що описані матриці (2) та (9) можна застосовувати в первинній обробці РЕМ зображень як фільтр для покращення виділення границь різноманітних дефектів.

2. Результати аналізу РЕМ зображень

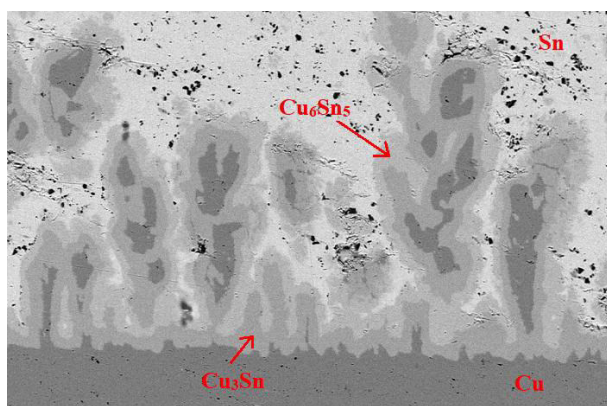
Для аналізу РЕМ зображень було створено програмний продукт, що працює за алгоритмом: кожне РЕМ зображення зчитувалося попіксельно і будувалася гістограма ЗГСК від 0 до 255, де 0 впадає чорному кольору, а 255 – білому. Після аналізу гістограми ЗГСК кожному з її піків ставилася у відповідність певна фаза. Для аналізу просторового розподілу певної фази потрібно обирати інтервал ЗГСК, що відповідає

пікові цієї фази. Далі, після підрахунку кількості пікселів, що відповідає обраному інтервалу ЗГСК, стає можливим розрахунок загальної площі кожної з фаз.

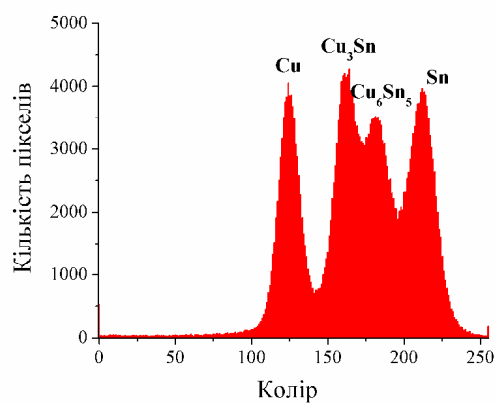
Для встановлення особливостей застосування матриць (2), (9) було проаналізовано вплив попередньої обробки РЕМ зображення чотирифазного зразка системи Cu-Sn на зміну розподілу градації сірого кольору в ньому.

Після обробки зображення методом нерізкого розмиття з застосуванням матриці (9) (Рис. 2б), різкість зображення зростає і границі пор стали більш окресленими, але при цьому піки в гістограмі ЗГСК (Рис. 2в) уширилися. Метод Гаусового розмиття з застосуванням матриці (2) дає протилежний результат, різкість зображення зменшується (Рис. 2д), а піки на гістограмі ЗГСК стають більш розділеними (Рис. 2е).

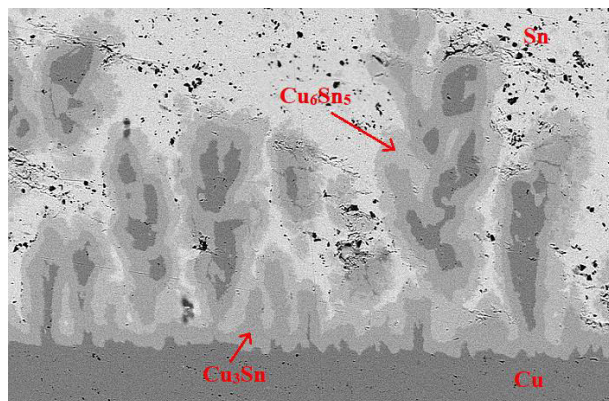
Так як метод Гаусового розмиття дозволяє виділити інтервал ЗГСК певної фази, що видно з гістограми на Рис. 2е, то для більш точного розрахунку площі δ -Cu₆Sn₅ фази було використано саме метод Гаусового розмиття з використанням матриці (2).



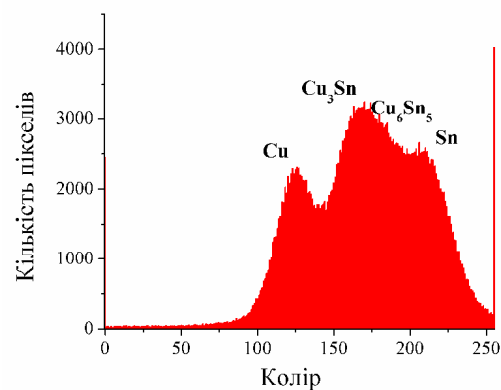
а



б



в



г

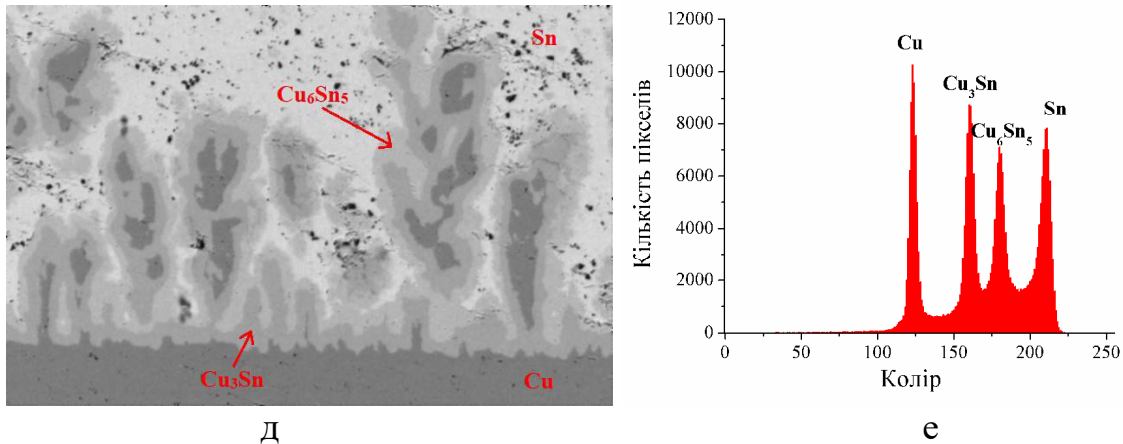


Рис. 2. РЕМ зображення чотирифазного зразка системи Cu-Sn та гістограми ЗГСК до обробки (а, б), після обробки методом нерізкого розмиття (в, г) та Гаусового розмиття (д, е)

На Рис. 3 проведено порівняння РЕМ зображень чотирифазного зразка системи Cu-Sn до та після попередньої обробки методом Гаусового розмиття з використанням матриці (2). Для цього застосовувався інтервал ЗГСК від 150 до 170, що відповідає піку δ - Cu_6Sn_5 фази. Зазначимо, що одиничні пікселі зі значеннями градації сірого кольору, які належать цьому інтервалу, але в оточенні яких зовсім немає подібних їм пікселів, не враховувалися. Видно також, що після попередньої обробки РЕМ зображення методом Гаусового розмиття виділені області фази δ - Cu_6Sn_5 стали більш рівномірно заповненими пікселями з подібними їм значеннями градації сірого кольору. Тому, до обробки відносна площа виділеної області складала 18,4%, а після обробки методом Гаусового розмиття вона складала 22,3%, що досить суттєво змінює результат ідентифікації фаз.

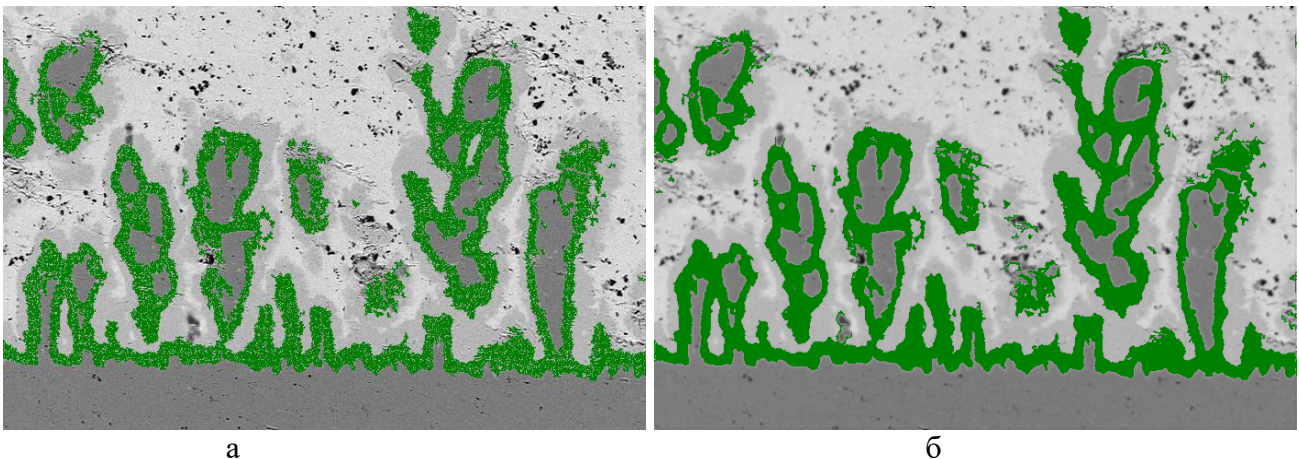


Рис. 3. РЕМ зображення чотирифазного зразка системи Cu-Sn з виділеною η - Cu_6Sn_5 фазою до (а) та після (б) обробки методом Гаусового розмиття

Крім необхідності виділення площ фаз існує потреба покращення ідентифікації такого типу структурних елементів, як об'ємних пустот (пор та тріщин). Тут у процесі детектування на растровому електронному мікроскопі на топологічних нерівностях навколо цих об'ємних дефектів виникають розмиття контурів. Такі ефекти розсіювання виникають із-за зміни інтенсивностей розсіювання електронів, що потребує корекції.

РЕМ зображення чотирифазного зразка системи Cu-Sn були проаналізовані на вміст дефектів в вигляді об'ємних пустот (пор). Оскільки межі дефектів на РЕМ зображенні чотирифазного зразка системи Cu-Sn до обробки розмиті, а метод нерізкого розмиття підсилює локальний контраст зображення на тих ділянках, де спочатку були присутні різкі зміни градієнта кольору, то для більш коректного виділення дефектів було застосовано матрицю (9).

На Рис. 4 проведено порівняння РЕМ зображень чотирифазного зразка системи Cu-Sn до та після обробки методом нерізкого розмиття з застосуванням матриці (9). Для ідентифікації пор застосовувався інтервал значень градації сірого кольору від 0 до 50. Аналіз РЕМ зображення чотирифазного зразка системи Cu-Sn на вміст пор показав, що до обробки методом нерізкого розмиття з застосуванням матриці (9) в зразку містилося 38 таких дефектів із середньою площею 52.8 мкм^2 . Зазначимо, що в розрахунок бралися дефекти розмір яких більший за 15 пікселів, а після обробки зображення методом нерізкого розмиття кількість дефектів склала 53 із середньою площею 43.8 мкм^2 .

Таким чином аналіз РЕМ зображення чотирифазного зразка системи Cu-Sn показав, що після обробки методом Гаусового розмиття з застосуванням матриці (2) виділена область стала більш рівномірною по розподілу градацій сірого кольору. До обробки відносна площа виділеної області складала 18,4%, після обробки методом Гаусового розмиття вона склала 22,3%, що досить суттєво змінює результат ідентифікації фази. Також РЕМ зображення було проаналізовано на вміст пустот (дефектів), та вплив методів обробки зображень на результати аналізу. Було встановлено, що попередня обробка РЕМ зображення методом нерізкого розмиття з застосуванням матриці (9) суттєво покращує результати аналізу розмірів пор, за рахунок більш коректного виділення границь пор.

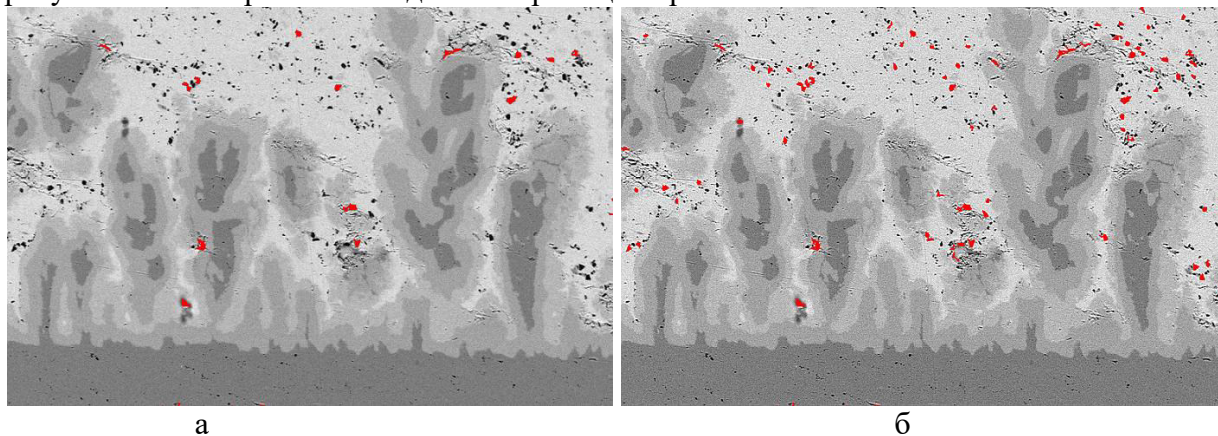


Рис. 4. РЕМ зображення чотирифазного зразка системи Cu-Sn з виділеними дефектами до (а) та після (б) обробки методом нерізкого розмиття

Висновки

У роботі проаналізовано застосування методів попередньої обробки зображень, що отримані із растрового електронного мікроскопа, в процесі дослідження фазового складу та визначення розподілу пор у чотирифазному зразку системи Cu-Sn. Проаналізовано застосування методу Гаусового розмиття, методу нерізкого розмиття для виділення меж фаз та підвищення різкості контурів пустотних дефектів. Розроблено алгоритми попередньої обробки зображення з використанням відповідних матричних фільтрів.

Показано, що на результати аналізу площі фаз впливає наявність білого шуму в РЕМ зображеннях. Для того щоб позбутися білого шуму було застосовано метод Гаусового розмиття, який усереднює значення градації сірого кольору в пікселях зображення відносно їх оточення, що дає змогу покращити результат розрахунку площ фаз.

У роботі показано, що попередня обробка зображень чотирифазного зразка системи Cu-Sn методом нерізкого розмиття дає змогу покращити ідентифікацію топологічних дефектів. Зокрема, було з'ясовано, що за рахунок збільшення локального контрасту в результаті застосування методу нерізкого розмиття зростає точність аналізу пустот та пор на РЕМ зображеннях, оскільки границі цих дефектів на РЕМ зображеннях стають менш розмитими.

Список використаної літератури:

1. Shapiro L. G. Computer Vision / L. G. Shapiro, G. C. Stockman. – Prentice Hall, 2001. – pp. 53–54.
2. Gumster J. GIMP Bible / J. Gumster, R. Shimonski. – Wiley Publishing, 2012. – pp. 438–442.
3. Lecarme O. The Book of GIMP: A Complete Guide to Nearly Everything / O. Lecarme, K. Delvare. – No Starch Press, 2013. – p. 429.
4. Gonzalez R. Digital Image Processing / R. Gonzalez, R. Woods. – Addison-Wesley Publishing Company, 1992, p 191.
5. Быстрое размытие по Гауссу [Электронный ресурс]: [Веб-сайт]. – Электронный ресурс. – Режим доступа: <https://habr.com/post/151157/> – Назва з екрана.
6. Фильтрация изображений методом свертки [Электронный ресурс]: [Веб-сайт]. – Электронный ресурс. – Режим доступа: <https://habr.com/post/62738/> – Назва з екрана.
7. Image Filtering [Электронный ресурс]: [Веб-сайт]. – Электронный ресурс. – Режим доступа: http://machinelearninguru.com/computer_vision/basics/convolution/image_convolution_1.html – Назва з екрана.

References:

1. Shapiro L. G. & Stockman G. C. (2001) Computer Vision. Prentice Hall.
2. Gumster J. & Shimonski R. (2012) GIMP Bible. Wiley Publishing.
3. Lecarme O., Delvare K. (2013) The Book of GIMP: A Complete Guide to Nearly Everything. No Starch Press.
4. Gonzalez R. & Woods R. (1992) Digital Image Processing. Addison-Wesley Publishing Company.
5. Quick Gaussian Blur [Electronic resource]: [Web-site]. – Electronic Data. – Access mode: <https://habr.com/post/151157/>. The name of the screen. (in Rus)
6. Filtration of images by convolution [Electronic resource]: [Web-site]. – Electronic Data. – Access mode: <https://habr.com/post/62738/>. The name of the screen. (in Rus)
7. Image Filtering [Electronic resource]: [Web-site]. – Electronic Data. – Access mode: http://machinelearninguru.com/computer_vision/basics/convolution/image_convolution_1.html. The name of the screen.

MOROZOVYCH Vladyslav,

The Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy, student

HONDA Andrii,

The Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy, student

LYASHENKO Yurii,

The Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy, Director of Educational-Scientific Institute of Informational and Educational Technologies, Doctor of Physics and Mathematics Sciences, Assistant Professor

THE APPLICATION OF PREVIOUSLY PROCESSED IMAGES FROM SCANNING ELECTRON MICROSCOPE FOR IMPROVING IDENTIFICATION OF STRUCTURAL ELEMENTS

Abstract. The paper describes the effect of pre-processing images of a four-phase sample of the Cu-Sn system obtained from a scanning electron microscope on the analysis of structural elements. Preliminary image processing was carried out using Gaussian and non-erosive methods. The image

processing algorithm using matrix filters is described. The expediency of using each of the methods of pre-processing images for analysis of various types of structural elements (calculation of phase areas and determination of the number and calculation of the sizes of structural defects) has been analyzed.

Introduction. Image processing plays a significant role in computer analysis of digital images, in particular in recognizing image fragments. It is worth noting that in the case of considering the image as a two-dimensional signal (when an image can be described by a function whose value depends on two spatial coordinates), an important stage in the processing of images is the selection of useful information. Various pre-processing algorithms allow you to change the image so as to simplify the selection of a useful signal.

Procedures of image processing and analysis contain a pre-processing step in their structure, which includes smoothing, noise filtering, sharpening and contrasting. In addition, pre-processing of images includes correction of non-linearity of the sensor, brightness, contrast, elimination of geometric distortions, the selection of certain objects relatively to the background. Effectiveness of the stage of the previous (primary) image processing has a significant effect on the result of the subsequent stages of image processing, including segmentation, morphological analysis and pattern recognition.

During the process of detecting in a bitmap electron microscope, the received signals impose different noise on the received images due to the scattering of electrons at the boundaries of structural elements (for example, the different phases of the investigated alloys) and volume defects (for example, due to scattering at topological inequalities near pores or cracks). Therefore, the application of different methods of pre-processing images plays an important role in improving the analysis of various types of structural elements and defects.

Purpose. The main purpose of the work is to study the effects of various types of previous digital image processing of samples taken on a scanning electron microscope (SEM) on the results of the analysis of these images, as well as direct implementation in a single application of the basic methods of preprocessing and subsequent analysis of SEM images.

Results. The paper proposes methods of preliminary processing of images obtained from a scanning electron microscope for the study of a four-phase sample of a Cu-Sn system with bulk defects. The application of the Gaussian blur method, the method of unsteady blurring for the separation of phase boundaries and the sharpening of the contours of cavity defects has been analyzed. To do this, algorithms for pre-processing images using various matrix filters were implemented.

Conclusion. It is shown in this paper that the use of matrix filters for the pre-processing of SEM images can significantly improve the results of their analysis.

It is shown that the results of calculating the area of the phases are influenced by the presence of white noise in the SEM images. To eliminate the effect of white noise, the Gaussian blur method is used, which averts the value of the grayscale of the image peaks relative to their surroundings.

The work demonstrated that the preliminary processing of images of a four-phase sample of the Cu-Sn system by the method of non-erosive blurring makes it possible to improve the identification of voids defects: pores and cracks. In particular, it was found that the after increasing the local contrast the accuracy of the analysis of three-dimensional defects on SEM images was increased as well. In this case, the boundaries of hollow defects on the SEM images are blurred, and the method of erosive blurring improves the process of their selection.

Key words: methods for image processing, scanning electron microscopy, Gaussian blur, unsharp masking.

Стаття надійшла 07.06.2017
Прийнято до друку 26.06.2017