

О.О. Захаров, Т.В. Селівьорстова,

В.В. Селівьорстов, В.Ф. Балакін, Л.В. Камкіна

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ МЕТАЛОСТРУКТУР, ЩО МІСТЯТЬ КАРБІДИ

Анотація. Стаття присвячена розробці інформаційної моделі призначеної для аналізу цифрових зображень металоструктур з карбідними вкрапленнями. Проведений аналіз літературних джерел, встановлено, що дослідження металоструктур є актуальним інструментом оцінки якісних характеристик. Наявність карбідів в структурі металу має значний вплив на його якість. Наведений огляд методики вивчення структури металу, визначено важливість етапу обробки зображення металоструктур. Описані основні способи отримання цифрових зображень структури металу. Представлені зразки металоструктур, з карбідами. Запропоновано процедуру цифрової обробки зображень металоструктур з карбідними вкрапленнями, яка складається з переведення зображення в напівтонове, контрастування та порогової бінарізації. Продемонстровані результати визначення карбідних вкраплень із застосуванням процедури цифрової обробки зображень. Показані переваги та недоліки підходу, визначені напрямки вдосконалення.

Ключові слова: Металоструктура, карбіди, зображення, цифрова обробка, напівтонове зображення, контрастування, адаптивне контрастування, бінарізація, гістограма.

Вступ. В теперішній час економіка України вимагає водночас зниження собівартості та відповідності експлуатаційних характеристик виробів машинобудівництва, тому на всіх етапах виготовлення металевих деталей необхідний контроль якості продукції. Для отримання повної картини про стан металу та його якості на макро і мікро рівнях використовують в тому числі аналіз мікрошліфів металу. Підхід зв'язаний із аналізом мікрошліфів потребує залучення висококваліфікованих експертів в галузі матеріалознавства, що у свою чергу не виключає впливу «людського фактору». З іншого боку, питання підвищення об'єктивності ідентифікації властивостей металів і сплавів вимагають залучення сучасних методів обробки даних, наприклад штучного інтелекту при вирішенні задач класифікації та ідентифікації макро та мікро структур.

© Захаров О.О., Селівьорстова Т.В.,

Селівьорстов В.В., Балакін В.Ф., Камкіна Л.В., 2021

В роботі представлений огляд процесу дослідження макро та мікро структур, що містять карбіди, визначенні специфічні особливості, що притаманні даним зображенням, запропоновано інформаційну модель їх обробки.

Аналіз стану питання. Об'єктами мікроструктурних досліджень стають металографічні шліфи – внутрішні перерізи металу, відполіровані та протруєні різними методами, а основним завданням металографії є – виявлення та реєстрація найдрібніших деталей рельєфу, що виникають через структурні неоднорідності в металі [1]. Розповсюдженим інструментом для отримання знімків металоструктур у наукових, навчальних, заводських та експертних лабораторіях є світлова та електронна мікроскопія. Мікроструктурні дослідження методами світлової мікроскопії характеризуються збільшенням 10...2000 разів за допомогою світлооптичних приладів різних типів. Можливості цього методу обмежені граничним дозволом (тобто, мінімальною відстанню між двома точками, що розрізняється) близько 0,2 мкм. Це пов'язано з хвильовою природою видимого світлового випромінювання: через дифракційні явища деталі структури, що мають розміри менше довжини світлової хвилі (500 нм), стають невидимими. Растрова електронна мікроскопія дозволяє підвищити збільшення до 30000 разів, а роздільну здатність до 5,0 нм. Перевагою методу є відносна простота підготовки зразків, а також можливість поєднання з локальним рентгівським та енергодисперсійним аналізом. Деякі растрові мікроскопи мають спеціальні пристрої для отримання картин каналування відбитих електронів, що дозволяє визначати орієнтацію кристалічної решітки окремих зерен або частинок інших фаз.

Пристрій металографічного мікроскопа складається з двох систем – окуляра та об'єктива, які представлені трьома системами: освітлювальною, механічною та оптичною, кожна з яких може впливати на якість вихідного зображення і як наслідок спотворити оцінку структурних особливостей представлених на цифровому зображенні металоструктури.

Вивчення структури металу включає ланцюжок послідовних операцій, основні з яких представлені на рисунку 1.



Рисунок 1 – Послідовність операцій при вивченні структури металу

Обробці зображення передуює важливий етап отримання цифрового зображення, на якому можуть відбутися спотворення візуальної якості зображення пов'язанні в тому числі з: ОЕСФ (оптоелектронна функція перетворення), розміром зображення та роздільною здатністю, шумом (відношення сигнал/шум), контрастністю зображення (коефіцієнт контрастності), різкістю зображення, сірими рівнями, рівнем чорного, гамма калібруванням, насиченістю білого (балансом), час відгуку, кольоровими властивостями, кутом огляду [2 – 6].

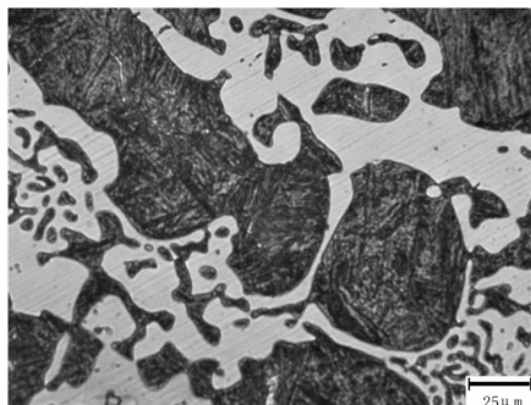
Мета роботи. Проведення дослідження особливостей цифрових зображень металоструктур металів і сплавів, які містять карбіди. Виявлення факторів, що впливають на можливість автоматичного виділення фрагментів зображення, що відповідають карбідним включенням.

Основний матеріал. Відомо, що цифрові зображення мікроструктури матеріалів, зокрема металів і сплавів, складається з кінцевого числа елементів – пікселів. У зв'язку з цим, основним завданням цифрової обробки зображення металографічної мікроструктури є фонові корекція та виділення геометричних об'єктів для подальшого розрахунку та дослідження, а також покращення якості зображень та усунення різних шумових складових. Слід зазначити, що виділення геометричних особливостей цифрових зображень металоструктур є важливою задачею пов'язаною з ідентифікацією механічних та фізичних властивостей металів і сплавів [7].

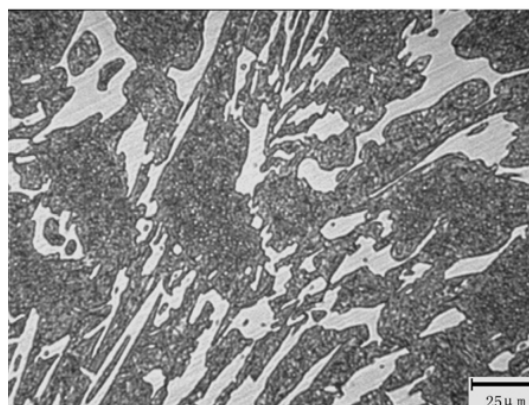
Як відомо, карбідна неоднорідність є дефектом мікроструктури сталі, причиною появи якої нерівномірне розподілення первинних і вторинних карбідів у металі. У вуглецевих та легованих сталях вуглець може виділятися у ви-

гляді метастабільних фаз – карбідів, що можуть утворити карбідну сітку (рисунок 2). У зв'язку з неоднорідністю концентрації карбідів в об'ємі матеріалу, може виникнути зниження міцності та в'язкості всього матеріалу в цілому [8 – 10]. Оцінку карбідної неоднорідності проводять у відповідності до ГОСТ 19265-73 для швидкоріжучих сталей, ГОСТ 801-78 для підшипникової сталі, ГОСТ 8233-56 для сталі, ГОСТ 5950-2000 для інструментальної легованої сталі [11]. Зразки піддають шліфуванню, поліруванню та травленню, далі на металографічному мікроскопі при збільшенні $\times 100$ проводять оцінку карбідної неоднорідності за допомогою шкали, наведеної в ГОСТ на відповідну сталь. На підставі оцінки балу карбідної неоднорідності робиться висновок про якість досліджуваного зразка [12].

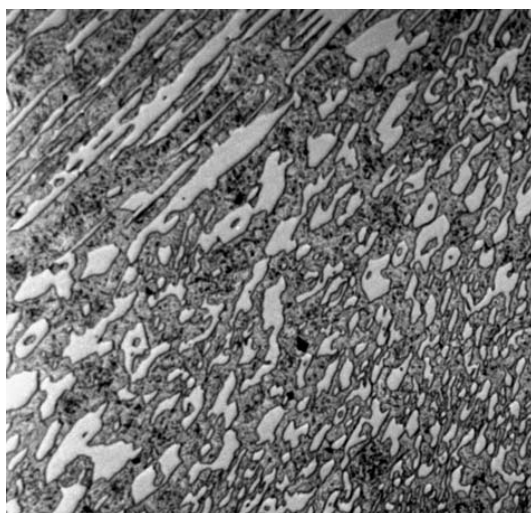
На рисунку 2 представлені приклади цифрових зображень мікроструктур з карбідними вкрапленнями – світлі ділянки.



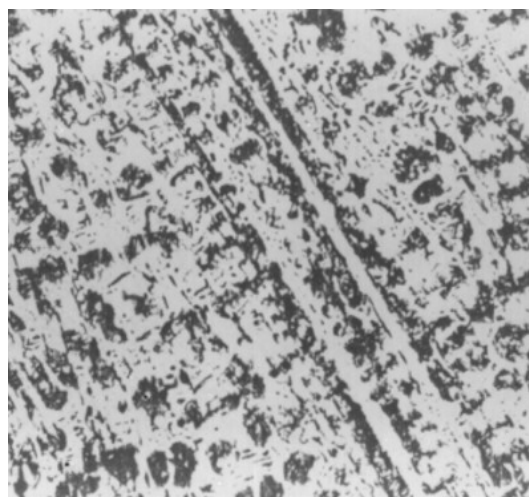
а



б



в



г

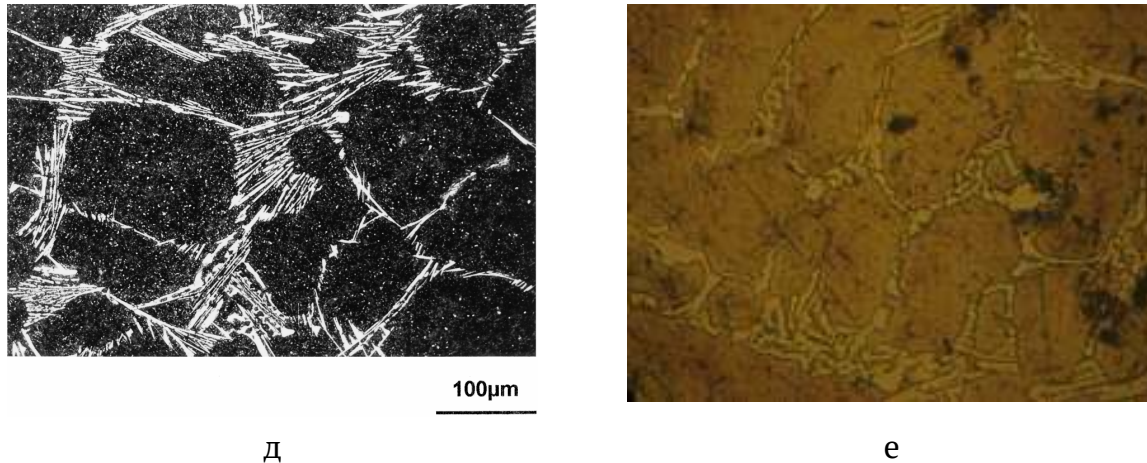


Рисунок 2 – Оптичні мікроструктури

а – борний чавун [13]; б – чавун з високим вмістом Cr [13];
в – евтектичний чавун з 38% карбідів, 1000X [14]; г – нелеговане залізо [15];
д – швидкорізальна сталь S 6-5-2 [16], е – сталь X12Ф1 [17]

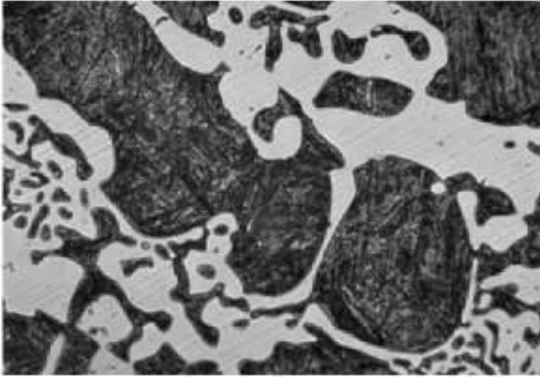
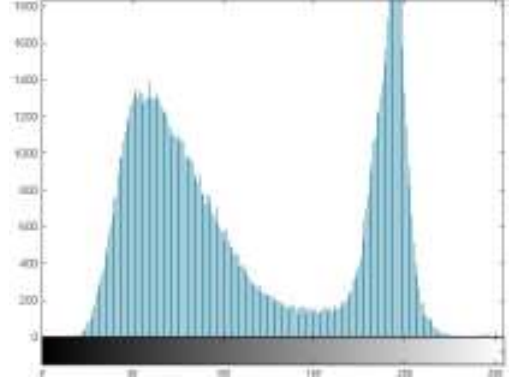
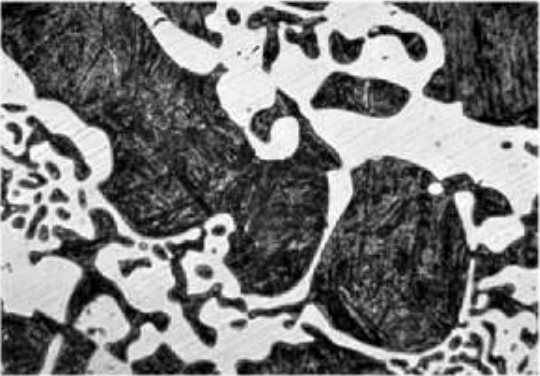
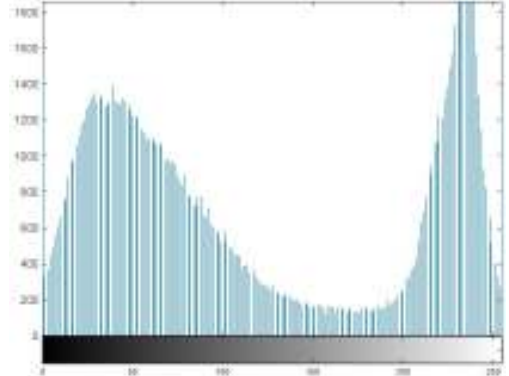
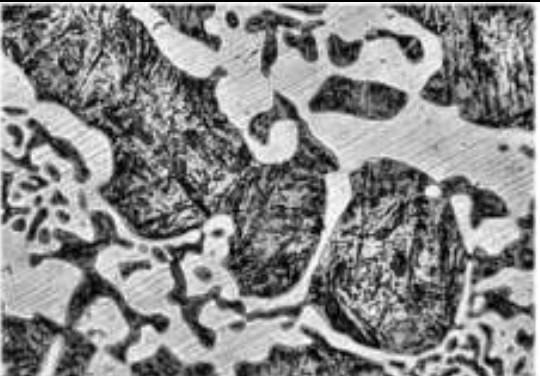
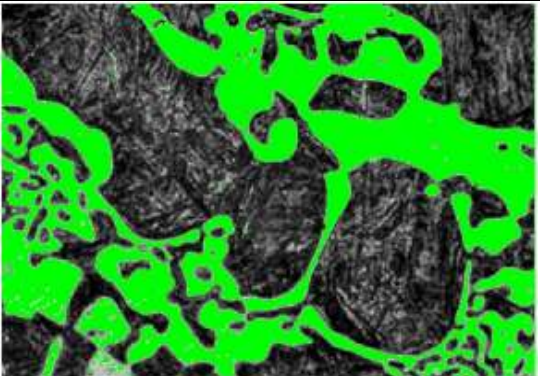
Для цифрової обробки зображень металоструктур з кірбідними вкрапленнями було застосовано наступну послідовність (рисунок 3) перетворення вихідного зображення до бінарізованого з метою визначення ділянок зображення, які відповідають карбідам.



Рисунок 3 – Послідовність цифрової обробки зображень металоструктур з кірбідними вкрапленнями

В таблиці 1 представлені результати обробки зображення борного чавуну, представленого в роботі А.М. Дальського «Технологія конструкційних матеріалів» [13]. Для цього зображення притаманна контрастність, що дозволило з досить високим ступенем якості виділити фрагменти, які відповідають карбідам.

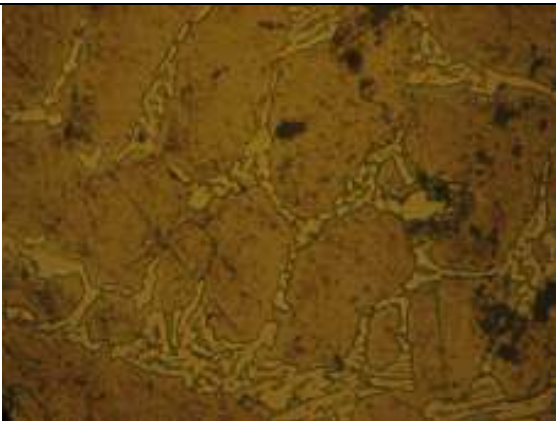
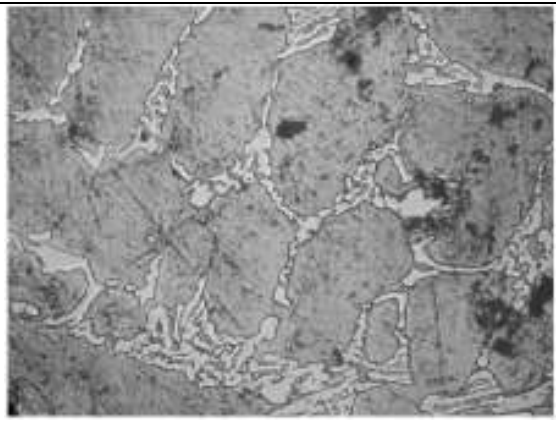
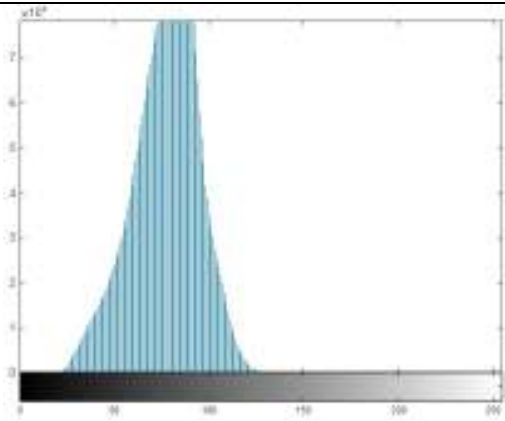
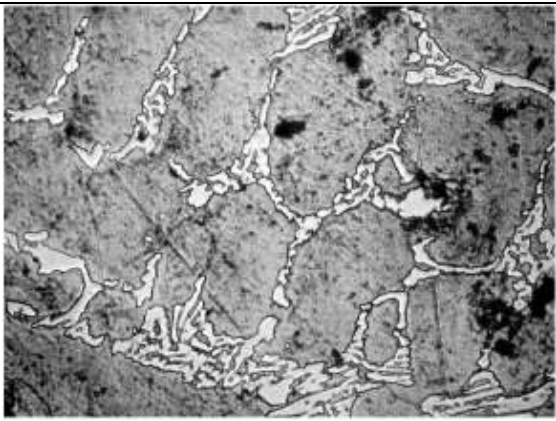
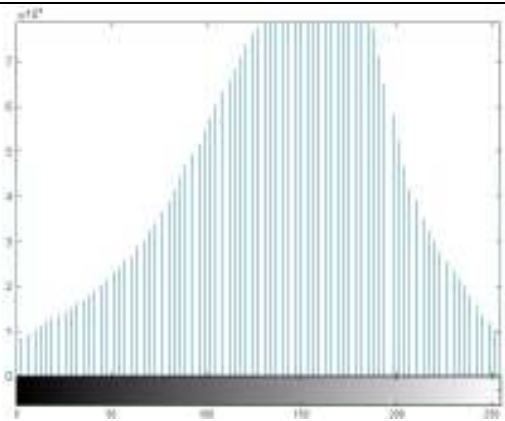
Результат виділення ділянок зображення (рисунок 2, а),
що відповідають карбідам

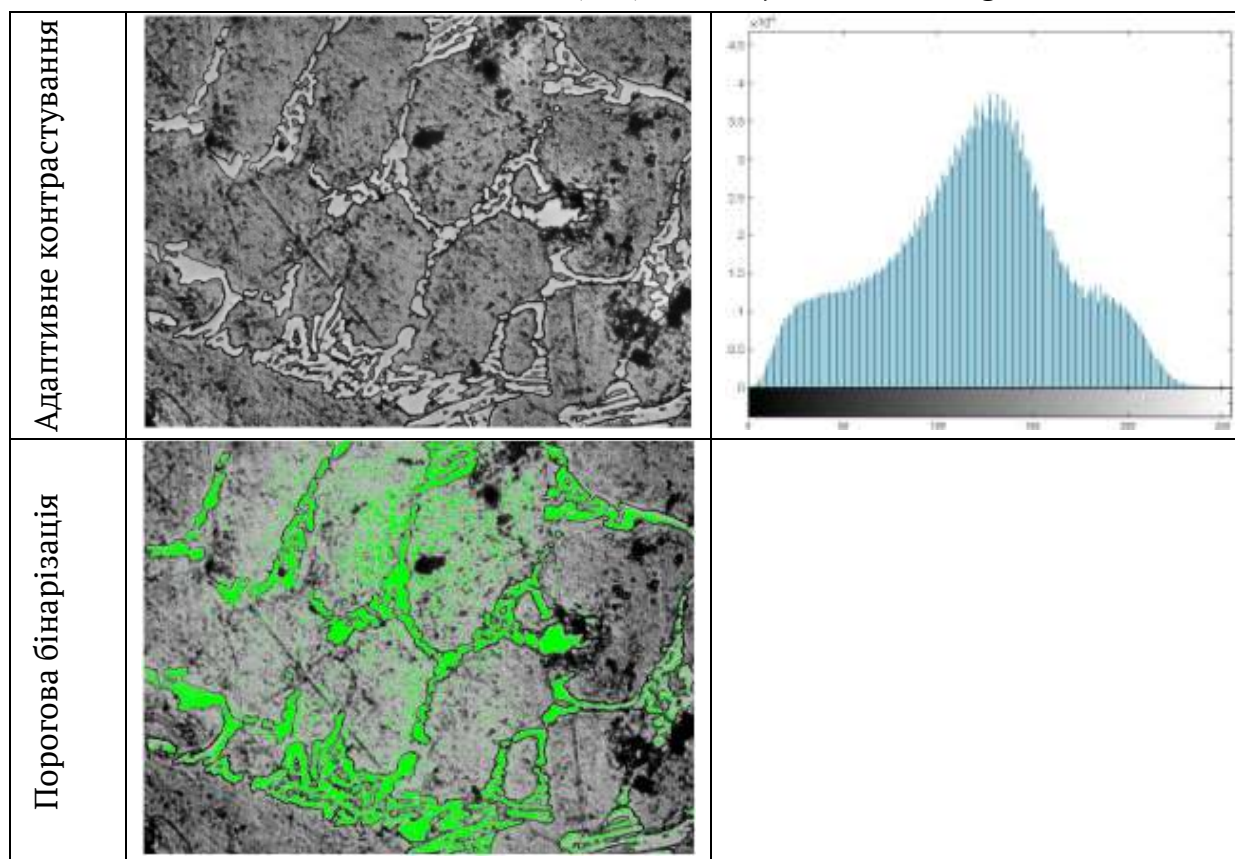
	Зображення	Гістограма
Напівнове зображення		
Контрастування		
Адаптивне контрастування		
Порогова бінарізація		

Застосуємо запропоновану процедуру обробки зображень до макроструктури сталі Х12Ф1 (рисунок 2, е). Результат обробки цього зображення представлений в таблиці 2.

Таблиця 2

Результат виділення ділянок зображення (рисунок 2, е),
що відповідають карбідам

	Зображення	Гістограма
Вихідне зображення		
Напівтонове зображення		
Контрастування		



Аналіз результатів обробки зображення (рисунок 2, е) дозволив виявити ділянки з карбидними включеннями, проте до цих ділянок додані артефакти, що не є карбідами. Балансування порогом бінаризації в цьому випадку не призводить до покращення виділення мережі карбідних включень у зв'язку з відсутністю контрастності на даному зображенні. Гістограми демонструють наявність інформаційних ознак в широкому спектрі сірих кольорів, тому для такого класу зображень потрібно розробляти більш складні технології обробки зображень.

Висновки. В ході проведення дослідження особливостей цифрових зображень металоструктур металів і сплавів, які містять карбіди було:

- 1) запропоновано інформаційну модель обробки металоструктур, що містять карбідні включення;
- 2) запропоновану інформаційну модель застосовано до цифрових зображень металоструктур;
- 3) встановлено, що деякі зображення металоструктур відрізняються низькою контрастністю, що призводить до виділення окрім ділянок із карбидними включеннями фонових артефактів;

4) запропоновано розроблення комплексних математичних методів для виділення карбідних включень на зображеннях металоструктур, що характеризуються низькою контрастністю.

ЛІТЕРАТУРА

1. Большаков В.И., Сухомлин Г.Д., Лаухин Д. В. Атлас структур металлов и сплавов. - Днепропетровск: ГВУЗ «ПГАСА», 2010. 174 с.: с ил.
2. Comparative Analysis of Image Quality for Low-Light Cameras in Low Light Conditions / J.Kocic, M. Radisavljevic, S. Vujic, I. Popadic. // Proc. of the 60th ETRANConference. – 2016.
3. Kyung-Woo K. Evaluation of camera performance using ISO-based criteria / K. Kyung-Woo, P. Kee-Hyon, H. Yeong-Ho. // 16th Color and Imaging Conference Final Program and Proceedings. – 2008. – С. 238–242.
4. Wueller D. Proposal for a Standard Procedure to Test Mobile Phone Cameras / Dietmar Wueller. // Proc. of SPIE-IS&T Electronic Imaging. – 2006.
5. UL2802 –"Camera Performance Measurement", 2013.
6. ISO 12233 –"Photography—Electronic still-picture cameras -Resolution measurements", 2000.
7. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB / Р. Гонсалес, Р.Вудс, С. Эддинс. – М.: Техносфера, 2006. - 616с
8. Геллер Ю.А. Инструментальные стали./ Ю.А. Геллер. – М.: Metallurgy, 1983. – С. 191-201, 322 – 393.
9. Лахтин Ю.М. Материаловедение. / Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева. - М.: Машиностроение, 1991. – 487 с.
10. Пахолюк А.П. Основы матеріалознавства і конструкційні матеріали /А.П. Пахолюк, О.А. Пахолюк. – Львів: видавництво "Світ", 2005. – 172с.
11. Гуляев А.П. Металловедение / А.П.Гуляев. – М.: Metallurgy, 1986. – 851с.
12. Материаловедение / Под ред. Б.Н.Арзамасова. – М.: Машиностроение, 1986. – 611с.
13. Технология конструкционных материалов/ Под ред. А.М.Дальского. – М.: Машиностроение 1999. – 764с.
14. Pintaude G. Study On The Performance Of High Chromium Cast Iron Balls With Varied Carbide Fractions And Matrix Microstructures / G. Pintaude, E. Albertin, A. Sinatora. // International Congress on Abrasion Wear Resistant Alloyed White Cast Iron for Rolling and Pulverizing Mills. – 2002.
15. Alp T. Microstructure-Property Relationships in Cast Irons / T. Alp, A. Wazzan, F. Yilmaz. // The Arabian Journal for Science and Engineering. – 2005. – С. 163–175.

16. Microstructure and Nanochemistry of Carbide Precipitates in High-Speed Steel S 6-5-2-5 / E.Pippel, J. Woltersdorf, G. Pöckl, G. Lichtenegger. // MATERIALS CHARACTERIZATION. – 1999. – №43. – С. 41–55.

17. Селиверстов В. Ю. Теоретические и технологические основы газодинамического воздействия на металл, затвердевающий в литейной форме : дис. докт. техн. наук : 05.16.04 / Селиверстов Вадим Юрьевич – Днепр, 2011. – 406 с.

REFERENCES

1. Bolshakov V.I., Suhomlin G.D., Lauhin D. V. Atlas struktur metallov i splavov. - Dnepropetrovsk: GVUZ «PGASA», 2010. 174 s.: s il.

2. Comparative Analysis of Image Quality for Low-Light Cameras in Low Light Conditions / J.Kocic, M. Radisavljevic, S. Vujic, I. Popadic. // Proc. of the 60th ETRANConference. – 2016.

3. Kyung-Woo K. Evaluation of camera performance using ISO-based criteria / K. Kyung-Woo, P. Kee-Hyon, H. Yeong-Ho. // 16th Color and Imaging Conference Final Program and Proceedings. – 2008. – С. 238–242.

4. Wueller D. Proposal for a Standard Procedure to Test Mobile Phone Cameras / Dietmar Wueller. // Proc. of SPIE-IS&T Electronic Imaging. – 2006.

5. UL2802 – "Camera Performance Measurement", 2013.

6. ISO 12233 – "Photography—Electronic still-picture cameras -Resolution measurements", 2000.

7. Gonsales R. Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy v srede MATLAB / R. Gonsales, R.Vuds, S. Eddins. – М.: Tehnosfera, 2006. - 616s

8. Geller Yu.A. Instrumentalnyie stali./ Yu.A. Geller. – М.: Metallurgiya, 1983. – S. 191-201, 322 – 393.

9. Lahtin Yu.M. Materialovedenie. / Yu.M. Lahtin, V.P. Leonteva. - М.: Mashinostroenie, 1991. – 487 s.

10. Paholyuk A.P. Osnovi materialoznavstva i konstruktsiyni materiali /A.P. Paholyuk, O.A. Paholyuk. – Lviv: vidavnistvo "Svit", 2005. – 172s.

11. Gulyaev A.P. Metallovedenie / A.P.Gulyaev. – М.: Metallurgiya, 1986. – 851s.

12. Materialovedenie / Pod red. B.N.Arzasova. – М.: Mashinostroenie, 1986. – 611s.

13. Tehnologiya konstruktsionnyih materialov/ Pod red. A.M.Dalskogo. – М.: Mashinostroenie 1999. – 764s.

14. Pintaude G. Study On The Performance Of High Chromium Cast Iron Balls With Varied Carbide Fractions And Matrix Microstructures / G. Pintaude, E. Albertin,

A. Sinatora. // International Congress on Abrasion Wear Resistant Alloyed White Cast Iron for Rolling and Pulverizing Mills. – 2002.

15. Alp T. Microstructure-Property Relationships in Cast Irons / T. Alp, A. Wazzan, F. Yilmaz. // The Arabian Journal for Science and Engineering. – 2005. – C. 163–175.

16. Microstructure and Nanochemistry of Carbide Precipitates in High-Speed Steel S 6-5-2-5 / E.Pippel, J. Woltersdorf, G. Pöckl, G. Lichtenegger. // MATERIALS CHARACTERIZATION. – 1999. – №43. – C. 41–55.

17. Seliverstov V.Yu. Teoreticheskie i tehnologicheskie osnovyi gazodinamicheskogo vozdeystviya na metall, zatverdevayuschiy v liteynoy forme : dis. dokt. tehn. nauk : 05.16.04 / Seliverstov Vadim Yurevich – Dnepr, 2011. – 406 s.

Received 18.10.2021.

Accepted 22.10.2021.

Features of metal structures digital images containing carbides investigation

The analysis of microsections requires the involvement of highly qualified experts in the field of materials science, which, in turn, does not exclude the influence of the "human factor". On the other hand, the issues of increasing the objectivity of identifying the properties of metals and alloys require the use of modern data processing methods, for example, artificial intelligence in solving problems of classification and identification of macro and micro structures. The paper presents an overview of studying macro and micro structures containing carbides process, determining the specific features inherent in these images, and proposing an information model for their processing.

The article is devoted to the development of an information model intended for the analysis of metal structures digital images with carbide inclusions. The analysis of literary sources is carried out, it is established that the study of metal structures is an important tool for assessing qualitative characteristics. The presence of carbides in the metal structure has a significant impact on its quality. A review of the methodology for studying the structure of a metal is given, and the importance of metal structures image processing stage is determined. The main methods for obtaining digital images of the alloy structure are described. Samples of metal structures with carbides are presented. A procedure for digital processing of metal structures images with carbide inclusions is proposed, which consists of image conversion to grayscale, contrasting, and threshold binarization.

An analysis of the results of metal structures processing images made it possible to identify areas with carbide inclusions, however, additional artifacts that were not carbides were found in some images. Balancing by the binarization threshold in this case does not improve the detection of carbide inclusions network due to the lack of contrast. Histograms demonstrate the presence of information features in a wide range of gray colors, so for this class of images, more sophisticated image processing technologies need to be developed.

In the course of digital images features study of metals and alloys metal structures containing carbides, it was: an information model for processing metal structures containing

carbide inclusions is proposed; the proposed information model is applied to digital images of metal structures; it was found that some images of metal structures are characterized by low contrast, which leads to the selection of background artifacts, except for areas with carbide inclusions; the development of complex mathematical methods for the detection of carbide inclusions in images of metal structures characterized by low contrast is proposed. Thus, the article shows the results of carbide inclusions of the using the digital image processing procedure. The advantages and disadvantages of the approach are shown, the directions for its improvement are determined.

Захаров Олександр Олександрович – аспірант, Національна металургійна академія України.

Селівьорстова Тетяна Віталіївна – кандидат технічних наук, доцент, кафедра інформаційних технологій та систем, Національна металургійна академія України.

Селівьорстов Вадим Юрійович – доктор технічних наук, професор, кафедра ливарного виробництва, Національна металургійна академія України.

Балакін Валерій Федорович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри теорії, технології та автоматизації металургійних процесів, Національна металургійна академія України.

Камкіна Людмила Володимирівна – доктор технічних наук, професор, декан факультету металургійних процесів та хімічних технологій, Національна металургійна академія України.

Zakharov Alexander - graduate student, The National Metallurgical Academy of Ukraine.

Selivyorstova Tatjana - candidate of technical science, assistant professor, Department of information technology and systems, The National Metallurgical Academy of Ukraine.

Selivyorstov Vadim - doctor of engineering's sciences, professor, Department of casting production, The National Metallurgical Academy of Ukraine.

Balakin Valeriy - doctor of technical sciences, professor, Head of Department of the Department of Quality, Standardization and Certification, The National Metallurgical Academy of Ukraine.

Kamkina Lyudmila - doctor of technical sciences, professor, Dean of the Faculty of Metallurgical Processes and Chemical Technologies, The National Metallurgical Academy of Ukraine.