

КОРОТКІ ПОВІДОМЛЕННЯ

УДК 681.3: 544.016.5

ВИМІРЮВАННЯ УСЕРЕДНЕНОГО РОЗМІРУ ЗЕРЕН МЕТАЛУ З ВИКОРИСТАННЯМ ФРАКТАЛЬНОЇ РОЗМІРНОСТІ

І. М. ЖУРАВЕЛЬ, Л. М. СВІРСЬКА

Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів

Запропоновано метод автоматизованого визначення усередненого розміру зерен на основі аналізу цифрових металографічних зображень мікроструктури експлуатованої паропровідної сталі 12Х1МФ. В його основі – вимірювання фрактальної розмірності меж зерен металу. Він дає можливість автоматизувати обчислення та аналізувати металографічні зображення з незамкнутими та розривними межами зерен без їх інтерактивного редагування.

Ключові слова: *розмір зерна, фрактальна розмірність, метод автоматизованого визначення.*

Стан і властивості матеріалу в металоконструкціях тривалої експлуатації вимагають постійного моніторингу. Одним із основних параметрів, який тісно пов'язаний з механічними властивостями, є розмір зерна металу [1, 2]. Більшість існуючих способів його визначення розроблені з дотриманням регламентувальних документів [3–9]. Але їх практичне застосування пов'язано з великими трудовими та часовими затратами через необхідність набирати статистику і, як наслідок, отримані результати є дещо суб'єктивні. Інший суттєвий недолік більшості відомих програмних систем – потреба використовувати лише високоякісні зображення структури металів з чітко окресленими межами зерен. Але доволі часто якість вхідних металографічних зображень не відповідає таким вимогам, особливо під час виготовлення шліфів безпосередньо на експлуатованому об'єкті. При цьому важко досягнути необхідної якості як самого шліфа, так і травлення структурних складників: межі зерен досить часто перервні, не завжди контрастно і чітко окреслені. Крім того, на металографічних зображеннях структури практично завжди існує градієнт фону за освітленістю. Тому актуально розробити комп'ютеризований метод визначення геометрії зерен металів і сплавів, який відповідав би вимогам стандарту [9] та забезпечував оброблення металографічних зображень з нечітко окресленими межами зерен.

Результати досліджень та їх обговорення. Підхід до отримання бінарного зображення меж зерен металу за його металографічним зображенням детально описано раніше [10], тому тут розглянемо метод обчислення розмірів зерен металу на основі бінарного зображення їх меж. У матеріалознавстві для опису елементів структури традиційно використовують евклідову цілочисельну розмірність. Проте така цілочисельна геометрія, на відміну від фрактальної, не відображає зміну конфігурації структурних складників [11]. Тому використовували один із найуживаніших клітинний метод визначення фрактальної розмірності [12, 13]. Згідно з ним вхідне зображення фракталу покривають сітками у вигляді квадратних комірок з різним розміром кроку сітки, що дорівнюють кроку виміру, і підраховують кількість кліток, які покривають досліджувану фрактальну фігуру для кожного кроку виміру. Саму ж фрактальну роз-

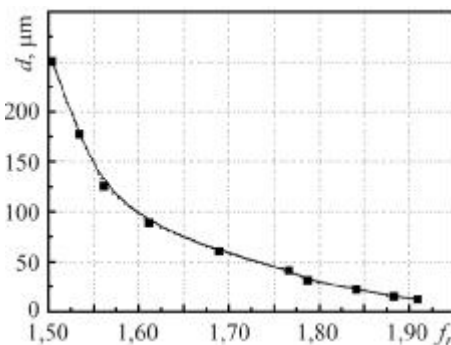
Контактна особа: І. М. ЖУРАВЕЛЬ, e-mail: zuravel@ipm.lviv.ua

мірність зображення визначають як тангенс кута нахилу прямої, що апроксимує отриманий набір точок прямої і обчислюється за допомогою методу найменших квадратів [14]. Крім того, для забезпечення вищої точності фрактальну розмірність f_r зображень обчислювали за результатом найкращої збіжності клітинного та крапкового методів [10].

Фрактальні розмірності f_r еталонних зображень, поданих у ГОСТ 5639-82 [4], показали, що між усередненим діаметром d та фрактальною розмірністю f_r існує однозначна відповідність (рис. 1).

Рис. 1. Залежність усередненого діаметра зерна d від фрактальної розмірності f_r зображення меж зерен металу: лінія – апроксимація залежності, поданою в тексті.

Fig. 1. Dependence of the average grain diameter, d , vs. fractal dimension, f_r , of the metal grain boundaries image: line – approximation with the dependence, presented in the text.



Використавши метод найменших квадратів, апроксимуємо отриману залежність виразом

$$d = -129250,5 \cdot f_r^5 + 1151402,2 \cdot f_r^4 - 4098157,2 \cdot f_r^3 + 7285297,8 \cdot f_r^2 - 6469045,5 \cdot f_r + 2295716,3,$$

який моделює зв'язок усередненого розміру зерен та фрактальної розмірності бінарного зображення меж зерен. Важливо зазначити, що він стосується лише зображень, сформованих на мікроскопі зі збільшенням у 100 разів. Для перевірки достовірності запропонованого підходу визначено усереднений діаметр зерен сталі 12X1MΦ (рис. 2a) та порівняно його з результатами, отриманими іншим методом.

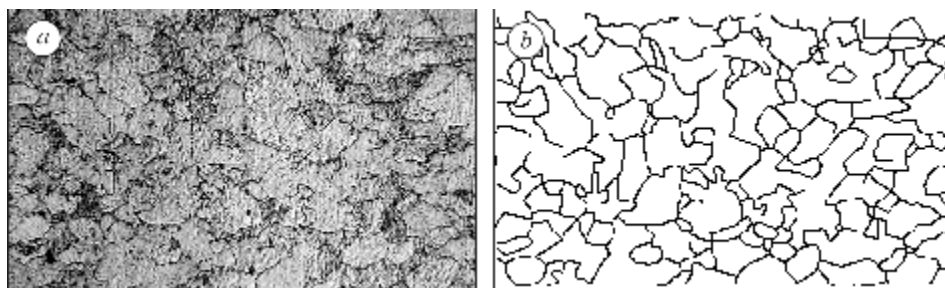


Рис. 2. Мікроструктура сталі 12X1MΦ (a) та відповідне зображення меж зерен (b).

Fig. 2. Microstructure of 12X1MΦ steel (a) and corresponding image of the grain boundaries (b).

Фрактальна розмірність зображення меж зерен (рис. 2b) рівна 1,77. За поданим виразом обчислимо, що цій фрактальній розмірності відповідає усереднений розмір зерна 38,3 μm. Наведено [1] результат вимірювань усередненого діаметра зерен сталі 12X1MΦ (рис. 2a), який становить 36 μm. Якщо вважати цей результат істинним, то похибка вимірювань за запропонованим тут методом становить 6%.

ВИСНОВКИ

Апробовано метод визначення усередненого розміру зерен металу за металографічними зображеннями, який дає можливість автоматизувати обчислення та аналізувати металографічні зображення з незамкнутими та розривними межами зерен без їх інтерактивного редагування.

РЕЗЮМЕ. Предложен метод автоматизированного определения среднего размера зерен на основе анализа цифровых металлографических изображений микроструктуры эксплуатируемой паропроводной стали 12Х1МФ. В его основе – измерение фрактальной размерности границ зерен металла. Метод позволяет автоматизировать расчеты и анализировать металлографические изображения с незамкнутыми и разрывными границами зерен без их интерактивного редактирования.

SUMMARY. The method of determination of an average diameter of metal grains by the analysis of metallographic images of the 12Х1МФ steam pipeline steel microstructure is presented. This method is based on measuring the fractal dimension of metal grain boundaries. This method also enables us to automatize the calculations and to analyse the metallographic images with the open and broken borders of grains without necessity of their interactive editing.

Робота виконана в рамках бюджетної теми “Розроблення автоматизованих методів кількісного оцінювання розподілу структурних складових та встановлення їх зв’язку з механічними властивостями для оццаднолегованих теплостійких сталей” (2007-20011, Постанова Бюро відділення ФТПМ НАН України № 19 від 26.12.2006, р.н. 0107U004067).

1. Золотаревский В. С. Механические свойства металлов. – М.: Металлургия, 1983. – 352 с.
2. Фарбер В. М., Биленький Б. З., Гольдштейн Б. И. Оценка прочности малоуглеродистых низколегированных сталей по структурным данным. – Физика металлов и металловедение. – 1975. – 3, вып. 2. – С. 403–409.
3. ASTM E 112-96. Стандартный метод испытаний по определению среднего размера зерна. – 39 с.
4. ГОСТ 5639-82. Методы выявления и определения величины зерна. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 21 с.
5. ГОСТ 21073.0-75. Металлы цветные. Определение величины зерна. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 20 с.
6. ГОСТ 21073.1-75. Металлы цветные. Определение величины зерна методом сравнения со шкалой микроструктур. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 6 с.
7. ГОСТ 21073.2-75. Металлы цветные. Определение величины зерна методом подсчета зерен. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 3 с.
8. ГОСТ 21073.3-75. Металлы цветные. Определение величины зерна методом подсчета пересечений зерен. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 2 с.
9. ГОСТ 21073.4-75. Металлы цветные. Определение величины зерна планиметрическим методом. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 3 с.
10. Автоматизоване визначення геометрії зерен в експлуатованій паропровідній сталі / І. М. Журавель, Л. М. Свірська, О. З. Студент та ін. // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2009. – 45, № 3. – С. 23–29.
11. Большаков В. И., Волчук В. Н., Дубров Ю. И. Фракталы в материаловедении: Учебник для студентов высших технических учебных заведений / Под ред. В. И. Большакова. – Днепропетровск: ПГАСА, 2005. – 253 с.
12. Кроновер Р. М. Фракталы и хаос в динамических системах. Основы теории. – М.: Постмаркет, 2000. – 352 с.
13. Kraft R. and Kauer J. Fractal and Dimensions (www.edv.agrar.tu-muenchen.de).
14. Пат. 51439А України, G06K9/00. Спосіб визначення фрактальної розмірності зображень / В. І. Большаков, Ю. І. Дубров, Ф. В. Криулін, В. М. Волчук. – 2002.

Одержано 09.03.2010