

МЕТОДИКА ВСТАНОВЛЕННЯ ЧУТЛИВОСТІ ФРАКТАЛЬНОЇ РОЗМІРНОСТІ СТРУКТУРИ МАТЕРІАЛІВ ДО ЇХ ЯКОСТІ

Волчук В.М.

Державний вищий навчальний заклад
«Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»,
д.т.н., професор кафедри матеріалознавства та обробки матеріалів,
доцент (<https://orcid.org/0000-0001-7199-192X>, volchuky@gmail.com)

В матеріалознавстві проблема встановлення зв'язку між складом, структурою та властивостями матеріалів залишається однією із головних [1, 2]. Частково це можна пояснити тим, що реальна структура багатьох матеріалів формується в умовах далеких від умов термодинамічної рівноваги, часто це відбувається у відкритих системах, що характеризуються обміном енергією з навколишнім середовищем. Наприклад при розливці металу в масивні форми температура його охолодження по всьому об'єму форми може відрізнятися, що позначається на неоднорідності структури та розподілу властивостей. Тому в реальній структурі існує безліч дефектів, що класифікуються відносно типу матеріалу (точкові дефекти, дислокації, дисклінації та ін.). Вони значною мірою впливають на механічні показники, значно зменшуючи їх по відношенню до теоретичних показників. Розходження у прогнозах властивостей матеріалів на основі аналізу їх структури свідчить про неповноту формальної аксіоматики, що спостерігається при її ідентифікації [3-5].

Для встановлення зв'язку між структурою та властивостями матеріалів застосовують фрактальний підхід [6-11]. Застосування цього підходу дозволяє визначати розмірність елементів структури на різних масштабних рівнях, яка здебільшого виявляється фрактальною, оскільки їх форма значною мірою відрізняється від форми класичних фігур Евкліда.

Верхній масштабний рівень обмежений розмірами цілого об'єкту, а нижній – обмежений його атомною структурою. При цьому, якщо чутливість

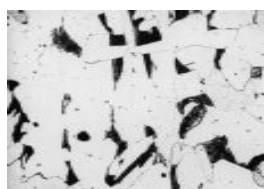
фрактальної розмірності вище похибки, з якою вона визначається, її можна застосовувати для ідентифікації характеристики, що цікавить дослідника. В іншому випадку ми маємо справу з детермінованим процесом, і мову фрактальної геометрії для ідентифікації метрики об'єкту немає сенсу [12]. Однак самого співставлення фрактальних розмірностей елементів структури з їх властивостями інколи виявляється недостатньо.

Для більшої достовірності одержуваних результатів допускається, що чутливість фрактальної розмірності визначається в декількох випадковим чином обраних точках [13]. Якщо різниця отриманих в цих точках показань чутливості фрактальних розмірностей перевищує похибку, з якою вона визначається, то метрика структури фрактальна. Коефіцієнт чутливості K запропоновано визначати за наступною формулою [4]:

$$K = |Y_i - Y_{i+1}| / |X_i - X_{i+1}|,$$

де X_i та X_{i+1} – два числа характеризують вибрані характеристики якості; Y_i та Y_{i+1} – відповідні їм чисельні значення фрактальних розмірностей.

В роботі наведені показники чутливості мікротвердості зерен перліту (темні включення на рис. 1) для сталі СтЗпс (0,16% С) до їх фрактальної розмірності. Структура сталі СтЗпс досліджувалася в стані заводської поставки. Коефіцієнти чутливості обчислювалися на шліфі, виготовленому з арматури цієї сталі діаметром \varnothing 24 мм на відстані $R = 0$; $R = 0,5$; $R = 1$ радіуса (по три фотознімки в цих реперних точках). Чисельні показники чутливості наведені на рис. 2.



$R = 0$



$R = 0,5$



$R = 1$

Рис. 1. Структура сталі СтЗпс після охолодження на повітрі від 930°C , $\times 500$

При цьому похибка, що одержується при обчисленні фрактальної розмірності зерен фериту із застосуванням запатентованої методики [14], становить $0,1 \div 0,3\%$.

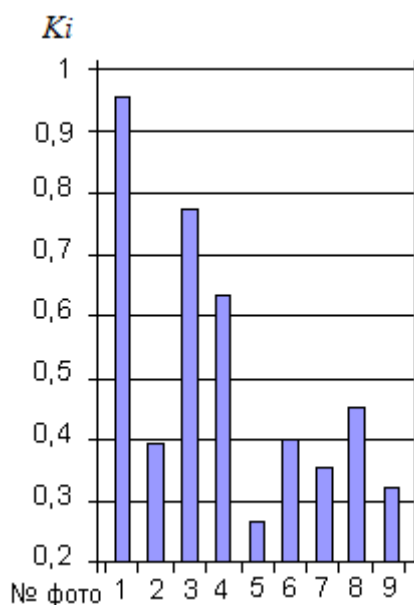


Рис. 2. Чутливість мікротвердості перліту до його фрактальної розмірності

Незважаючи на те, що структура стали по всьому перетину шліфа ферито-перлітна (див. рисунок), показники чутливості, як бачимо, різняться між собою. Чисельні значення коефіцієнтів чутливості $0,26 \div 0,96$ перевищують значення похибки $0,1 \div 0,3$, що свідчить про можливість застосування теорії фракталів для визначення обраного показника якості досліджуваного металу.

Слід відмітити, що при додаткових дослідженнях природи об'єкта, в деяких випадках, є доцільним перехід від традиційних детермінованих, статистичних або імітаційних моделей до моделей, що описуються мовою фрактальної геометрії [13].

Наведений приклад підтверджує той факт, що фрактальна розмірність елементів структури матеріалів може при досягненні порогу чутливості виступати індикатором їх якісних характеристик, зокрема металу.

Список літератури:

1. Uzlov O. Investigation of Acicular Ferrite Structure and Properties of C-Mn-Al-Ti-N Steels / O. Uzlov, A. Malchere, V. I. Bolshakov, C. Esnouf // *Advanced Materials Research*. – 2007. – Vol. 23. – P. 209–312.
2. Modified expanded clay lightweight concretes for thin-walled reinforced concrete floating structures / A. Mishutn, S. Kroviakov, O. Pishev, B. Soldo // *Tehnicki Glasnik/Technical Journal*. - 2017. - Vol. 11. – № 3. – P. 121-124.
3. Большаков Вад. І. Часткова компенсація неповноти формальної аксіоматики при ідентифікації структури металу / Вад. І. Большаков В. І. Большаков, В. М. Волчук, Ю. І. Дубров // *Вісник НАН України*. – 2014. – № 12. – С. 45–48.
4. Большаков В. И. Основы организации фрактального моделирования : монография / [В. И. Большаков, В. Н. Волчук, Ю. И. Дубров]. – Киев, Академперіодика, 2017. – 170 с.
5. Fractals and properties of materials : monograph / [V. Bol'shakov, V. Volchuk, Yu. Dubrov] – Saarbrücken : Lambert Academic Publishing, 2016. – 140 p.
6. Журавель І. М. Аналіз текстури фрактографічних зображень на основі спектра фрактальних розмірностей Реньї / І. М. Журавель // *Искусственный интеллект*. – 2013. – № 1. – С. 204–208.
7. Журавель І. М. Вимірювання усередненого розміру зерен металу з використанням фрактальної розмірності / І. М. Журавель, Л. М. Свірська // *Фізико-хімічна механіка матеріалів*. – 2010. – № 3. – С. 126–128.
8. Карускевич М. В. Застосування фрактальної геометрії в задачах прогнозування залишкового ресурсу авіаційних конструкцій / М. В. Карускевич, І. М. Журавель, Т. П. Маслак // *Фізико-хімічна механіка матеріалів*. – 2011. – № 5. – С. 48–52.
9. Volchuk V. Method of material quality estimation with usage of multifractal formalism / V. Volchuk, I. Klymenko, S. Kroviakov, M. Orešković // *Tehnicki glasnik - Technical Journal*. – 2018. – Vol. 12. – № 2. – P. 93–97.

10. Волчук В. М., Рожко І. І. ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕОРІЇ ФРАКТАЛІВ ДЛЯ ОЦІНКИ ЯКОСТІ МАТЕРІАЛІВ. Сучасний рух науки: тези доп. III міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, 1-2 жовтня 2018 р. – Дніпро, 2018. – 748 с.: 109.

11. Волчук В. Н. Разработка и исследование метода определения качественных характеристик металла на основе анализа фрактальной размерности его микроструктуры: дисс. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук : 05.02.01 / Волчук Владимир Николаевич. – Днепропетровск, 2003. – 114 с.

12. Большаков В. И. К определению метрики объекта идентификации / В. И. Большаков, В. Н. Волчук, Ю. И. Дубров // Металлознавство та термічна обробка металів. – 2016. – № 4. – С. 10–14.

13. Большаков В. И. Особенности применения мультифрактального формализма в материаловедении / В. И. Большаков, В. Н. Волчук, Ю. И. Дубров // Доповіді НАН України. – 2008. – № 11. – С. 99–107.

14. Большаков В. І., Дубров Ю. І., Криулін Ф. В., Волчук В. М. Патент на винахід № 51439А. Спосіб визначення фрактальної розмірності зображення. – Бюл. № 11. – 15.11.2002.

МУЛЬТИФРАКТАЛЬНИЙ АНАЛІЗ СТРУКТУРИ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ ПРОКАТНИХ ВАЛКІВ

Волчук В.М.

Державний вищий навчальний заклад
«Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»,
д.т.н., професор кафедри матеріалознавства та обробки матеріалів,
доцент (<https://orcid.org/0000-0001-7199-192X>, volchuky@gmail.com)

Аксаков М.О.

Державний вищий навчальний заклад
«Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»,
магістр 1 курсу кафедри матеріалознавства та обробки матеріалів