

НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ

УДК 519.21

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ МУЛЬТИФРАКТАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛЛА

ВОЛЧУК В. Н.,¹ д. т. н., доц.

¹ Кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: volchuku@yandex.ua, ORCID ID: 0000-0001-8717-6786

Аннотация. Постановка проблемы. В последнее время в некоторых статьях, посвященных вопросам материаловедения, приводятся примеры объектов, для описания которых применяется язык фрактальной геометрии. Однако применение такого подхода должно быть строго обосновано, поскольку оно должно базироваться на том, что именно фрактальная размерность, присущая исследуемому материалу, может характеризовать его качественные свойства. До настоящего времени эту проблему предлагалось решать при помощи критерия Ф. Такенса. Выполнение условий, удовлетворяющих данному критерию, сводится к измерению какой-либо одной характеристики изучаемой системы в разные моменты времени с интервалом Δt . В результате этих измерений получается некоторая ограниченная последовательность $\{a_i\}$, $0 \leq i < \infty$. Если для этой

последовательности удастся построить гладкую детерминированную модель вида $\frac{d\vec{x}}{dt} = \vec{f}(\vec{x})$ [1], мы имеем дело

со сложным детерминированным процессом и применять язык фрактальной геометрии бессмысленно. Подход, основанный на применении мультифрактальной теории [2; 3] для количественной оценки элементов структуры, позволяет путем сопоставления спектра статистических размерностей ее элементов определять чувствительные показатели качественных характеристик, в частности, механических свойств, описывая взаимно однозначное соответствие данных размерностей структуры и этих свойств. Это, в свою очередь, приводит к уменьшению неполноты формальной аксиоматики, возникающей при описании элементов структуры металла с помощью традиционных фигур геометрии Евклида, путем выявления структурно-чувствительных к критериям качества размерностных оценок. **Цель исследования** - определить чувствительность между размерностными оценками элементов структуры валкового чугуна и его механическими свойствами. **Вывод.** Для прогноза механических свойств валкового чугуна с пластинчатой формой графита целесообразно использовать его размерностные оценки D_0, D_1, D_2 при увеличении структуры $\times 200$. Размерностные оценки графита D_{200}, D_{-200} , ввиду их низкой чувствительности к механическим свойствам, применять для их прогноза в исследованном масштабном диапазоне представления структуры ($\times 100, \times 1000$) некорректно.

Ключевые слова: чувствительность, мультифрактал, структура, механические свойства, размерность

ВИЗНАЧЕННЯ ЧУТЛИВОСТІ МУЛЬТИФРАКТАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИТИК МЕТАЛУ

ВОЛЧУК В. М.,¹ д. т. н., доц.

¹ Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: volchuku@yandex.ua, ORCID ID: 0000-0001-8717-6786

Анотація. Постановка проблеми. Останнім часом у деяких статтях, присвячених питанням матеріалознавства, неводяться приклади об'єктів, для опису яких застосовується мова фрактальної геометрії. Однак застосування такого підходу має бути строго обґрунтоване, оскільки воно повинно базуватися на тому, що саме фрактальна розмірність, властива досліджуваному матеріалу, може характеризувати його якісні властивості. Дотепер цю проблему пропонувалося вирішувати за допомогою критерію Ф. Такенса. Виконання умов, що задовольняють даному критерію, зводяться до виміру якоїсь однієї характеристики досліджуваної системи в різні моменти часу з інтервалом Δt . У результаті цих вимірів виходить деяка обмежена послідовність $\{a_i\}$, $0 \leq i < \infty$. Якщо для цієї послідовності вдається побудувати гладку детерміновану модель

виду $\frac{d\vec{x}}{dt} = \vec{f}(\vec{x})$ [1], ми маємо справу зі складним детермінованим процесом і застосовувати мову фрактальної

геометрії немає сенсу. Підхід, заснований на застосуванні мультифрактальної теорії [2; 3] для кількісної оцінки елементів структури, дозволяє шляхом зіставлення спектра статистичних розмірностей її елементів визначати чутливі показники якісних характеристик, зокрема, механічних властивостей, описуючи взаємно однозначну відповідність даних розмірностей структури та цих властивостей. Це, у свою чергу, зумовлює зменшення неповноти формальної аксіоматики, що виникає при описі елементів структури металу за допомогою традиційних фігур геометрії Евкліда, шляхом виявлення структурно-чутливих до критеріїв якості оцінок розмірності. **Мета дослідження** - визначити чутливість між оцінками розмірності елементів структури валкового чавуну і його механічними властивостями. **Висновок.** Для прогнозу механічних властивостей валкового чавуну із пластинчастою формою графіту доцільно використати його оцінки розмірності D_0, D_1, D_2 , збільшуючи структуру $\times 200$. Оцінки розмірності графіту D_{200}, D_{-200} , у зв'язку з їх низькою чутливістю до механічних властивостей, застосовувати для їх прогнозу в дослідженому масштабному діапазоні подання структури ($\times 100, \times 1000$) некоректно.

Ключові слова: чутливість, мультифрактал, структура, механічні властивості, розмірність

DETERMINING THE SENSITIVITY OF THE MULTIFRACTAL CHARACTERISTICS OF METALS

VOLCHUK V. N.,¹ *Dr. Sc. (Tech.)*.

¹ Department of Materials Science, State Higher Education Establishment «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-a, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: volchuky@yandex.ua, ORCID ID: 0000-0001-8717-6786

Summary. Raising of problem. Recently, some articles devoted to the issues of materials, are examples of objects which are used to describe the language of fractal geometry. However, such an approach must be rigorously justified, as it should be based on the fact that the fractal dimension is inherent in the test material can be characterized by its high-quality properties. Until now, this problem was proposed to solve using the criterion of F. Takens. The prerequisites for satisfying this criterion is reduced to measuring any one characteristic of the system under study at different times at intervals Δt . As a result of these measurements are obtained by a bounded sequence $\{a_i\}$, $0 \leq i < \infty$. If this sequence

is possible to construct a smooth deterministic model of the form $\frac{d\vec{x}}{dt} = \vec{f}(\vec{x})$ [1], then we are dealing with a complex

deterministic process and apply the language of fractal geometry is meaningless. An approach based on the use of multi-fractal theory [2, 3] to quantify the elements of the structure, allows the spectrum by comparing the statistical dimensions of its elements, identify sensitive indicators of qualitative characteristics, in particular the mechanical properties, describing the one-to-one correspondence data dimensional structures and these properties. This in turn reduces the incompleteness of formal axiomatic that occurs in the description of the elements of the metal structure through the traditional figures of Euclidean geometry by identifying structurally sensitive to the quality criteria of dimensional ratings. **Purpose.** To determine the sensitivity between the dimensional assessments of the structural elements of roll-iron and mechanical properties. **Conclusion.** To predict the mechanical properties of cast iron plate roll form graphite is advisable to use it with an increase in the dimensional assessment framework $\times 200$. Dimension assessment graphite, due to their low sensitivity to mechanical properties, applied to their forecast of the investigated large-scale representation of the range of structure ($\times 100, \times 1000$) correctly.

Key words: sensitivity, multifractal structure, mechanical properties, dimension

Введение. В последнее время в некоторых статьях, посвященных вопросам материаловедения, приводятся примеры объектов, для описания которых применяется язык фрактальной геометрии. Однако применение такого подхода должно быть строго обосновано, поскольку оно должно базироваться на том, что именно фрактальная размерность, присущая исследуемому материалу, может характеризовать его качественные свойства. До настоящего времени эту проблему предлагалось решать при помощи

критерия Ф. Такенса. Выполнение условий, удовлетворяющих данному критерию сводится к измерению какой-либо одной характеристики изучаемой системы в разные моменты времени с интервалом Δt . В результате этих измерений получается некоторая ограниченная последовательность $\{a_i\}$, $0 \leq i < \infty$. Если для этой последовательности удастся построить гладкую детерминированную модель вида $\frac{d\vec{x}}{dt} = \vec{f}(\vec{x})$ [1], мы

имеем дело со сложным детерминированным процессом и применять язык фрактальной геометрии бессмысленно.

Но, во-первых, мы не всегда можем экспериментально получить такую последовательность, а, во-вторых, поскольку мы всегда имеем дело с выборкой конечной длины N , постольку естественно возникает вопрос о том, каким должно быть число N , чтобы можно было надежно определить корреляционный показатель? Как видим, проблема не столь проста, как это кажется с первого взгляда. На наш взгляд, в самом начале исследования должна быть показана чувствительность фрактальной размерности материала к тем его характеристикам, на идентификацию которых они направлены. Последнее объясняется тем, что фрактальная размерность, присущая исследуемому материалу, может изменяться в очень узком диапазоне и в этой связи может быть нечувствительной (мало-чувствительной) к изменению тех характеристик материала, идентификация которых производится.

Подход, основанный на применении мультифрактальной теории [2; 3] для количественной оценки элементов структуры, позволяет путем сопоставления спектра статистических размерностей ее элементов определять чувствительные показатели качественных характеристик, в частности, механических свойств, описывая взаимно однозначное соответствие данных размерностей структуры и этих свойств. Это, в свою очередь, приводит к уменьшению неполноты формальной аксиоматики, возникающей при описании элементов структуры металла с помощью традиционных фигур геометрии Евклида, путем выявления структурно-чувствительных к критериям качества размерностных оценок.

Экспериментальные результаты и их обсуждение. Для решения этой задачи предлагается ввести критерий - K , отражающий чувствительность некоторой размерности элементов структуры из мультифрактального спектра статистических размерностей к изменениям исследуемых характеристик материала [1]. Пусть X_1 и X_2 – два числа, характеризующих некоторое

качество материала из множества его значений, и пусть Y_1 и Y_2 – соответствующие им численные значения размерностных оценок, полученных на основании изучения некоторой области $i=1, \dots, n$ этого материала. Определим, как сказывается отличие между показателями X_1 и X_2 на отличие между Y_1 и Y_2 . Поскольку X и Y – числа, то за меру можно принять $|X_1 - X_2|$ и соответственно $|Y_1 - Y_2|$. Так, например, для задач материаловедения удобно изучать чувствительность фрактальной или любой другой размерности элементов структуры материалов к изменениям их качественных характеристик, вычисляя коэффициент чувствительности K_i (1) по предложенной В. И. Большаковым и Ю. И. Дубровым методике [1]:

$$K_i = |Y_i - Y_{i+1}| / |X_i - X_{i+1}|. \quad (1)$$

Для выделения полезного сигнала на фоне помех естественно полученные точечные значения чувствительности фрактальной или статистической размерностей сравнивались с погрешностью - ψ методики по ее вычислению:

$$\forall K_i \gg \psi, \quad i=1, \dots, n. \quad (2)$$

При этом, если условие (2) нарушается, т. е. когда (3)

$$\exists [(K_j \approx \psi) \cup (K_j \leq \psi)] \in K_i, \quad (3)$$

то принимается, что для каждой из $j \in i$ -областей размерность Y_j не коррелирована с исследуемыми характеристиками материала и применение методики мультифрактального анализа структуры материала, например, для прогноза его качественных характеристик, некорректно. Чувствительность будет максимальной в тех точках структуры шлифа, где наблюдается максимальное изменение свойств металла. В работе [4] показано, что чувствительность спектра размерностей элементов феррито-перлитной структуры малоуглеродистой низколегированной стали достаточно высокая и этот факт можно использовать при идентификации, например, ее механических свойств, в частности, при определении показателей твердости косвенным путем.

На рисунку приведені результати розрахунку коефіцієнтів чутливості механічних властивостей валкового чугуна з пластинчастою формою графіта K_i к розмірностям

розмірностей оцінкам $D_0, D_1, D_2, D_{200}, D_{-200}$ графіта, вихисленим по формуле (1).

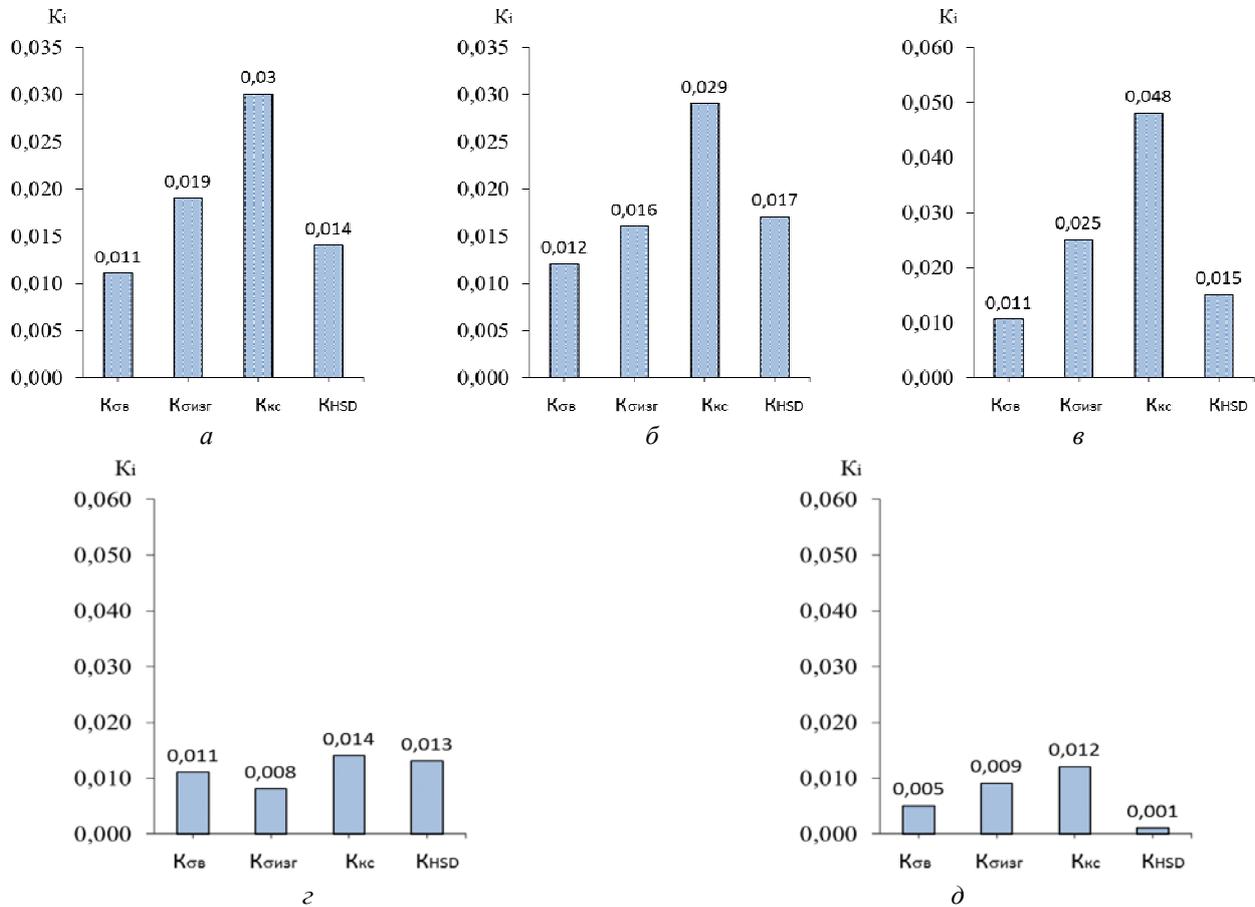


Рис. Чувствительность механических свойств к фрактальной (а), информационной (б), корреляционной (в), D_{+200} (з) и D_{-200} (д) размерностям графита рабочей зоны бочек валков исполнения СПХН

Коефициенты чутливості фрактальної (0,011...0,030), інформаційної (0,012...0,029) і кореляційної (0,011...0,048) розмірностей пластинчатого графіта, як це слідує з рисунка, перевищують в 2-3 рази коефициенти чутливості інших розмірностей $K_{D_{+200}}$ (0,008...0,014) і $K_{D_{-200}}$ (0,001...0,012) з мультифрактального спектра обобщених статистических розмірностей Реньї. Поєтому для дальнєшого використання розмірностей оценок графіта при прогнозі механіческесх властивостей валкового чугуна определены его наиболее чувствительные размерности D_0, D_1, D_2 , а граничные размерности D_{200}, D_{-200} , ввиду их незначительных пока-

зателей чутливості, в дальнєших розрахунках якості не учитывались.

Выводы. На основании проведенного эксперимента по выявлению чувствительности механических свойств рабочей зоны бочек чугунных прокатных валков исполнения СПХН к статистическим обобщенным размерностям элементов структуры из исследуемого мультифрактального спектра $D_0, D_1, D_2, D_{200}, D_{-200}$ сделаны следующие выводы:

1. Для прогноза механических свойств валкового чугуна с пластинчатой формой графита целесообразно использовать его размерностные оценки D_0, D_1, D_2 при увеличении структуры $\times 200$.

2. Размерностные оценки графита D_{200}, D_{-200} , ввиду их низкой чувствитель-

ности к механическим свойствам, применяют для их прогноза в исследованном ма-

сштабном диапазоне представления структуры ($\times 100$, $\times 1000$) некорректно.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Большаков В. И. Об оценке применимости языка фрактальной геометрии для описания качественных трансформаций материалов / В. И. Большаков, Ю. И. Дубров // Доповіді Національної академії наук України. – № 4. – 2002. – С. 116-121.
2. Синергетика и фракталы в материаловедении / В. С. Иванова, А. С. Баланкин, И. Ж. Бунин, А. А. Оксогоев. – Москва : Наука, 1994. – 383 с.
3. Большаков В. И. Особенности применения мультифрактального формализма в материаловедении / В. И. Большаков, В. Н. Волчук, Ю. И. Дубров // Доповіді Національної академії наук України. – 2008. – № 11. – С. 99–107.
4. Большаков В. И. Материаловедческие аспекты применения вейвлетно-мультифрактального подхода для оценки структуры и свойств малоуглеродистой стали / В. И. Большаков, В. Н. Волчук // Металлофизика и новейшие технологии. – 2011. – Т. 33, вып. 3. – С. 347–360.

REFERENCES

1. Bol'shakov V.I. and Dubrov Yu.I. *Ob otsenke primenimosti yazyka fraktal'noy geometrii dlya opisaniya kachestvennykh transformatsiy materialov* [An estimate of the applicability of the language of fractal geometry to describe quality transformation of materials]. *Dopovidi Nacional'noi akademii nauk Ukraini*. [Reports of National Academy of Sciences of Ukraine]. 2002, no. 4, pp. 116–121. Available at: <http://www.dopovidi.nas.gov.ua/>
2. Ivanova V.S., Balankin A.S., Bunin I.Z. and Oksogoyev A.A. *Sinergetika i fraktaly v materialovedenii* [Synergy and fractals in material]. Moscow: Science, 1994. 383 p. Available at: <http://www.nglib.ru/annotation.jsp?book=009313>
3. Bolshakov V.I., Volchuk V.N. and Dubrov Yu.I. *Osobennosti primeneniya mul'tifraktal'nogo formalizma v materialovedenii* [Features of the multifractal formalism in materials science]. *Dopovidi Nacional'noi akademii nauk Ukraini* [Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine]. 2008, no. 11, pp 99-107. Available at: <http://www.dopovidi.nas.gov.ua/2008-11/>
4. Bolshakov V.I. and Volchuk V.N. *Materialovedcheskiye aspekty primeneniya veyvletno-mul'tifraktal'nogo podkhoda dlya otsenki struktury i svoystv malouglerodistoy stali* [Materials aspects of wavelet-multifractal approach for assessing the structure and properties of low-carbon steel]. *Metallofizika i novejschie tehnologii* [Metal Physics and Advanced Technologies]. 2011, vol. 33, no. 3, pp. 347-360. Available at: <http://mfint.imp.kiev.ua/ru/toc/v33/i03.html>

Рецензент: д-р т. н., проф. Ю. І. Дубров

Надійшла до редколегії: 07.09.2015 р. Прийнята до друку: 11.09.2015 р.