

УДК 519.21

## О ВЫБОРЕ МАСШТАБА ИЗОБРАЖЕНИЯ СТРУКТУРЫ ДЛЯ ЕЕ МУЛЬТИФРАКТАЛЬНОГО АНАЛИЗА

ВОЛЧУК В. Н.,<sup>1</sup> д. т. н., доц.

<sup>1</sup> 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.** На каждом масштабном уровне выявляются новые особенности структуры материала, характеризующие то или иное его качество. Так, например, в сталях на микроструктурном уровне выявляются особенности зеренной структуры, параметры которой в значительной степени влияют на прочностные свойства металла. Таким образом, для выбора масштаба представления фрактального объекта, например, элементов структуры валкового чугуна или стали, необходимо определить интервал (1), в котором соблюдается его самоподобие, и на этом интервале должен быть выбран тот масштаб, применение которого позволит выбрать адекватную ему фрактальную размерность. За оптимальный масштаб представления структуры принимается тот, при котором как минимум в двух рядом стоящих точках из ряда (2) фрактальные размерности минимально различаются между собой. Последнее объясняется тем, что при этом наилучшим образом соблюдается свойство самоподобия структуры. Приведен пример выбора масштаба представления структуры чугунных валков исполнения СПХН (а) и исполнения СШХН (б) на интервале увеличений от  $\times 100$  до  $\times 1\ 000$  с заданным шагом  $\Delta l = 100$ . Реализация данного этапа исследований позволила определить экспериментальным путем оптимальный масштаб представления структуры валкового чугуна при увеличении  $\times 200$  – для мультифрактального анализа ее элементов: включений пластинчатого и шаровидного графита, карбидов. **Цель.** Определить оптимальный масштаб представления структуры валкового чугуна для мультифрактального анализа ее элементов: включений пластинчатого и шаровидного графита, карбидов. **Вывод.** Установлено, что фрактальная размерность исследуемых элементов структуры изменялась в пределах погрешности опыта  $5 \div 7\%$ , что свидетельствует об универсальности этой оценки, и, соответственно, надежности и экономическом выигрыше, с точки зрения оснащенности заводских лабораторий дорогостоящими металлографическими микроскопами с более высоким разрешением.

**Ключевые слова:** оптимальный масштаб, фрактальная размерность, мультифрактальный анализ, графит, карбиды

## ПРО ВИБІР МАСШТАБУ ЗОБРАЖЕННЯ СТРУКТУРИ ДЛЯ ЇЇ МУЛЬТИФРАКТАЛЬНОГО АНАЛІЗУ

ВОЛЧУК В. М.,<sup>1</sup> д. т. н., доц.

<sup>1</sup> 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.** На кожному масштабному рівні виявляються нові особливості структури матеріалу, що характеризують ту або іншу його властивість. Так, наприклад, у сталях на мікроструктурному рівні виявляються особливості зеренної структури, параметри якої значною мірою впливають на властивості міцності металу. Таким чином, для вибору масштабу подання фрактального об'єкта, наприклад, елементів структури валкового чавуну або сталі, необхідно визначити інтервал (1), в якому дотримується його самоподібність, і на цьому інтервалі повинен бути обраний той масштаб, використання якого дозволить вибрати адекватну йому фрактальну розмірність. За оптимальний масштаб подання структури приймається той, при якому, як мінімум у двох точках, що знаходяться поруч, з ряду (2), фрактальні розмірності мінімально відрізняються між собою. Останнє пояснюється тим, що при цьому щонайкраще дотримується властивість самоподібності структури. Наведено приклад вибору масштабу подання структури чавунних валків виконання СПХН (а) і виконання СШХН (б) на інтервалі збільшень від  $\times 100$  до  $\times 1\ 000$  із заданим кроком  $\Delta l = 100$ . Реалізація даного етапу досліджень дозволила визначити експериментальним шляхом оптимальний масштаб подання структури валкового чавуну при збільшенні  $\times 200$  – для мультифрактального аналізу її елементів: включень пластинчастого й кулястого графіту, карбідів. **Мета.** Визначити оптимальний масштаб подання структури валкового чавуну для мультифрактального аналізу її елементів: включень пластинчастого й кулястого графіту, карбідів. **Висновок.** Установлено, що фрактальна розмірність досліджуваних елементів структури змінювалася в межах похибки досліду  $5 \div 7\%$ , що свідчить про універсальність цієї оцінки, і, відповідно, надійність та економічний вигравш, з погляду оснащення заводських лабораторій дорогими металографічними микроскопами з більш високою роздільною здатністю.

**Ключові слова:** оптимальний масштаб, фрактальна розмірність, мультифрактальний аналіз, графіт, карбід

## SELECTION OF SCALE OF PICTURE OF STRUCTURE FOR ITS MULTIFRACTAL ANALYSIS

VOLCHUK V. N.,<sup>1</sup> *Dr. Sc. (Tech.), Ass.-prof.*

<sup>1</sup> Department of Materials Science, State Higher Education Establishment «Pridneprovs'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-a, Chernyshevskogo str., Dnepropetrovsk 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: volchuky@yandex.ua, ORCID ID: 0000-0001-8717-6786

**Summary. Problem statement.** Each scale level detectesthe new features of the structure of the material describing of it quality. For example, features of the grain structure are revealed in different kind of steel on microstruc ture level, and its parameters greatly influences on the strength properties of the metal. Thus, to select the scale of representation of a fractal object, for instance the elements of structure of roll iron or steel is necessary to determine the interval (1), where observed its self-similarity, and on this interval should be selected the scale, the use of which will allow him to choose adequate fractal dimension. For optimal scale structure of repose is taken one in which at least two adjacent points of the series (2), the fractal dimension is minimal differences between them. This is explained by the fact that this is best observed property of self-similarity structure. An example of the selection of the scale representation of the structure of cast iron rolls execution of SPHN (a) and execution SSHN (b) is shown on interval of increases in the range of  $\times 100$  to  $\times 1000$  with a predetermined pitch  $\Delta l = 100$ . The implementation of this phase of research allowed to determine experimentally the optimal scale of representation of structure of iron roll with increasing  $\times 200$  for multifractal analysis of its elements: inclusion of the plate and nodular graphit, carbides. **Purpose** To determine the optimal scale structure representation for iron roll multifractal analysis of its elements: inclusion of the plate and nodular carbides. **Conclusion.** It was found that the fractal dimension of the structural elements of the test ranged from experimental error  $5\div 7\%$ , which testifies to the universality of this assessment, and therefore reliability and economic benefits, in terms of the equipping of laboratories expensive metallurgical microscopes with higher resolution.

**Keywords:** optimal scale, fractal dimension, multifractal analysis, graphite, carbide.

**Введение.** При фрактальном анализе всегда предполагается, что изучаемому объекту, независимо от масштаба его изображения, присуще свойство самоподобия, которое заключается в том, что в любом масштабе его структуре присущи одни и те же сингулярности [1; 2]. Для реального фрактала, которым является структура многих металлов, существует некоторый масштаб длины  $l$ , такой, что при увеличениях меньших или больших от этого масштаба свойство самоподобия визуально не фиксируется. Исходя из этого, свойство самоподобия фракталов изучается в определенных масштабах:

$$l_{\min} \leq l \leq l_{\max}. \quad (1)$$

На каждом масштабном уровне выявляются новые особенности структуры материала, характеризующие то или иное его качество. Так, например, в сталях на микроструктурном уровне выявляются особенности зеренной структуры, параметры которой в значительной степени влияют на прочностные свойства металла [3].

Таким образом, для выбора масштаба представления фрактального объекта, например, элементов структуры валкового чугуна или стали, необходимо определить

интервал (1), в котором соблюдается его самоподобие, и на этом интервале должен быть выбран тот масштаб, применение которого позволит выбрать адекватную ему фрактальную размерность.

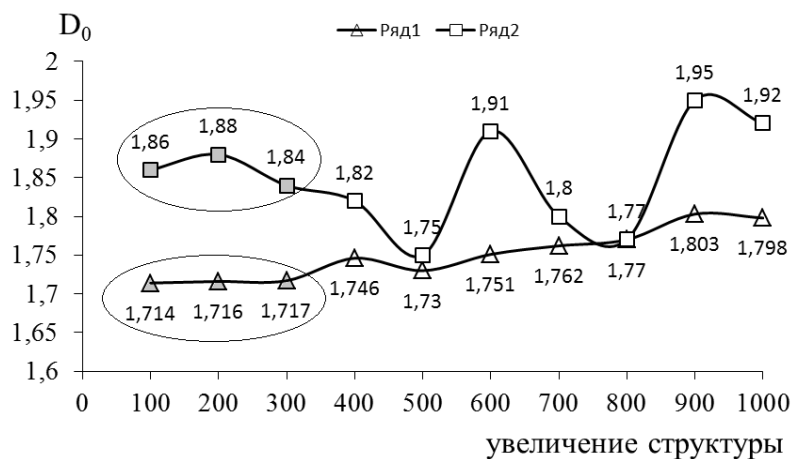
Для этого эмпирически задаем некоторый шаг  $\Delta l$  изменения масштаба от  $l_{\min}$  до  $l_{\max}$ . Затем в интервале (2) вычисляются оценки фрактальных размерностей в точках масштабов

$$l_{\min} + (l_{\min} + \Delta l) + \dots + (l_{\min} + n \Delta l), \quad (2)$$

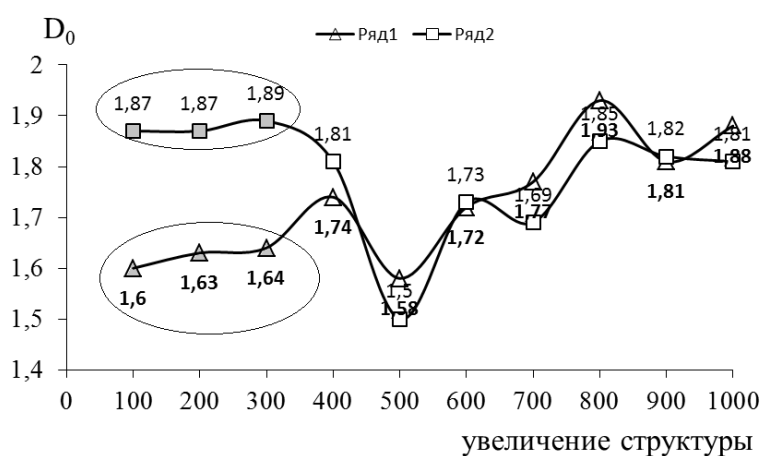
$$\text{где } n = \frac{l_{\max} - l_{\min}}{\Delta l}.$$

За оптимальный масштаб представления структуры принимается тот, при котором как минимум в двух рядом стоящих точках из ряда (2) фрактальные размерности минимально различаются между собой. Последнее объясняется тем, что при этом наилучшим образом соблюдается свойство самоподобия структуры.

**Экспериментальные результаты и их обсуждение.** Ниже на рисунке приведен пример выбора масштаба представления структуры чугуновых валков исполнения СПХН (а) и исполнения СШХН (б) на интервале увеличений от  $\times 100$  до  $\times 1\,000$  с заданным шагом  $\Delta l = 100$ .



а



б

Рис. Выбор оптимального масштаба представления структуры валкового чугуна (а – СПХН, б - СШХН) в зависимости от фрактальной размерности ее элементов (размерность графита – ряд 1; размерность карбидов – ряд 2)

Из рисунка следует, что самоподобие, как основная качественная характеристика, подтверждающая фрактальную природу исследуемого объекта, в указанном интервале масштабов сохраняется в выделенных областях. На основании результатов расчета фрактальной размерности элементов структуры чугуна валков исполнения СПХН по 235 фотоснимкам за оптимальный масштаб представления структуры чугуна выбран масштаб  $\times 200$ , поскольку в двух рядом стоящих масштабах ( $\times 100$ ,  $\times 300$ ) фрактальные размерности минимально различались между собой: 1,714, ... 1,717 – для пластинчатого графита (ряд 1); 1,860, ... 1,840 – для карбидов (ряд 2).

На рисунке б приведены результаты выбора оптимального масштаба для

представления структуры шаровидного графита валков исполнения СШХН. В качестве оптимального масштаба для представления структуры чугуна выбран также масштаб  $\times 200$ . В диапазоне увеличений от  $\times 100$  до  $\times 300$  фрактальная размерность графита изменялась от 1,600 до 1,640, а карбидов – от 1,870 до 1,890, что свидетельствует о сохранении самоподобия элементов структуры на данном масштабном диапазоне и подтверждает их фрактальную природу.

Реализация данного этапа исследований позволила определить экспериментальным путем оптимальный масштаб представления структуры валкового чугуна при увеличении  $\times 200$  – для мультифрактального анализа ее элементов: включений пластинчатого и шаровидного графита, карбидов.

**Выводы.** Установлено, что фрактальная размерность исследуемых элементов структуры изменялась в пределах погрешности опыта  $5 \div 7$  %, что свидетельствует об универсальности этой оценки, и, соответственно, надежности и экономическом выигрыше, с точки зрения оснащённости заводских лабораторий дорогостоящими металлографическими микроскопами с более высоким разрешением.

### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Большаков В. И. Фракталы в материаловедении / В. И. Большаков, В. Н. Волчук, Ю. И. Дубров. – Днепропетровск : ПГАСА, 2005. – 253 с. : ил.
2. 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.
3. 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., Volchuk V.N. and Dubrov Yu.I. *Fraktaly v materialovedenii* [Fractals in materials science]. Dnepropetrovsk: PGASA, 2006, 253 p. (in Russian).
2. Bolshakov V.I., Volchuk V.N. and Dubrov Yu.I. *Osobennosti primeneniya mul'tifraktal'nogo formalizma v materialovedenii* [Features of the use of the multifractal formalism in materials science ]. *Dopovidi Natsionalnoi akademii nauk ukrainy* [Proceedings of the National Academy of Sciences of Ukraine]. 2008, no. 11, pp 99-107. (in Russian).
3. Bolshakov V.I. and Volchuk V.N. *Materialovedcheskiye aspekty primeneniya veyvletno-mul'tifraktal'nogo podkhoda dlya otsenki struktury i svoystv malouglerodistoy stali* [Material science aspects of the use of wavelet and multifractal approach for assessing of the structure and properties of low-carbon steel]. *Metallofizika i noveyshie tekhnologii* [Metal physics and advanced technologies]. 2011, vol. 33, iss. 3, pp 347-360. (in Russian).

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

Надійшла до редколегії: 04.10.2015 р. Прийнята до друку: 06.10.2015 р.