

УДК 519.21

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ МЕТРИКИ ОБЪЕКТА ИДЕНТИФИКАЦИИ

БОЛЬШАКОВ В. И.¹, д. т. н., проф.,
 ВОЛЧУК В. Н.^{2*}, д. т. н., доц.,
 ДУБРОВ Ю. И.³, д. т. н., проф.

¹ Кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, Днепр, 49600, Украина, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: bolshakov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

^{2*} Кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, Днепр, 49600, Украина, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: volchuky@yandex.ua, ORCID ID: 0000-0001-8717-6786

³ Кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, Днепр, 49600, Украина, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: mom@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-3213-4893

Аннотация. Постановка проблемы. По мере развития исследований, встречающихся в прикладных и фундаментальных науках, они могут интерпретироваться как поиск метрики пространства состояний объекта идентификации (ПСОИ). При осуществлении этого поиска возрастает сложность его восприятия. Последнее приводит к появлению задач идентификации, для решения которых существующие методы, например, математического программирования, оказываются непригодными, так как их применение вызывает серьезные математические трудности. Для преодоления этих трудностей, как правило, вводится единая метрика, выбор которой совершенно произволен, что часто приводит к серьезным потерям в точности идентификации, поскольку «...некоторые силы в природе следуют одной, другие своей особой геометрией» [1]. **Результаты и их обсуждение.** Несокращение меры ПСОИ приводит к определению его неэргодичности. Последнее инициирует модификацию «математического пространства», т. е. построение новых, абстрактных схем. Выход из сложившейся ситуации некоторые исследователи находят в применении для идентификации языка фрактальной геометрии. Для большей достоверности получаемых результатов допускается, что чувствительность фрактальной размерности определяется в нескольких случайным образом выбранных точках ПСОИ. Если разница полученных в этих точках показаний превышает погрешность, с которой она определяется, то идентифицируемая структура фрактальна. Определена чувствительность микротвердости зерен феррита стали СтЗпс (0,16 % С) к их фрактальной размерности. Несмотря на то, что структура стали по всему сечению шлифа ферритно-перлитная, свойства, вычисленные в трех реперных точках, отличаются друг от друга, о чем свидетельствует изменение фрактальной размерности ее составляющих. Значения чувствительности 1,333...2,500 на порядок превышают значения погрешности при определении фрактальной размерности 0,1...0,3, что свидетельствует о возможности применения теории фракталов для регистрации качественных трансформаций исследуемого металла. **Выводы.** Приведенный пример подтверждает тот факт, что структура стали СтЗпс является фрактальной для рассматриваемого увеличения и может при достижении порога чувствительности выступать индикатором качественных характеристик металла.

Ключевые слова: пространство состояний объекта идентификации; математическое пространство; фрактальная размерность; микроструктура

ДО ВИЗНАЧЕННЯ МЕТРИКИ ОБ'ЄКТА ІДЕНТИФІКАЦІЇ

БОЛЬШАКОВ В. И.¹, д. т. н., проф.,
 ВОЛЧУК В. М.^{2*}, д. т. н., доц.,
 ДУБРОВ Ю. И.³, д. т. н., проф.

¹ Кафедра металознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: bolshakov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

^{2*} Кафедра металознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: volchuky@yandex.ua, ORCID ID: 0000-0001-8717-6786

³ Кафедра металознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: mom@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-3213-4893

Анотація. Постановка проблеми. У міру розвитку досліджень, що зустрічаються в прикладних і фундаментальних науках, вони можуть інтерпретуватися як пошук метрики простору станів об'єкта ідентифікації (ПСОІ). У процесі цього пошуку зростає складність його сприйняття. Останнє викликає появу задач ідентифікації, для розв'язання яких існуючі

методи, наприклад математичного програмування, виявляються непридатними, оскільки їх застосування викликає серйозні математичні труднощі. Для подолання цих труднощів, як правило, вводиться єдина метрика, вибір якої абсолютно довільний, що часто спричинює серйозні втрати в точності ідентифікації, оскільки «... деякі сили в природі слідуєть одній, інші своїй особливій геометрії» [1]. **Результати та їх обговорення.** Незбереження міри ПСОІ зумовлює визначення його неергодичності. Останнє ініціює модифікацію «математичного простору», тобто побудову нових, абстрактних схем. Вихід із ситуації, що склалася, деякі дослідники знаходять у застосуванні для ідентифікації мови фрактальної геометрії. Для більшої достовірності отриманих результатів допускається, що чутливість фрактальної розмірності визначається в декількох випадковим чином вибраних точках ПСОІ. Якщо різниця отриманих у цих точках показань перевищує похибку, з якою вона визначається, то структура, що ідентифікується, фрактальна. Визначено чутливість мікротвердості зерен фериту сталі Ст3пс (0,16 % С) до їх фрактальної розмірності. Незважаючи на те, що структура сталі по всьому перетину шліфа феритно-перлітна, властивості, обчислені в трьох реперних точках, відрізняються одна від одної, про що свідчить зміна фрактальної розмірності її складових. Значення чутливості 1,333...2,500 на порядок перевищують значення похибки при визначенні фрактальної розмірності 0,1...0,3, що свідчить про можливість застосування теорії фракталів для реєстрації якісних трансформацій досліджуваного металу. **Висновки.** Наведений приклад підтверджує той факт, що структура сталі Ст3пс є фрактальною для розглянутого збільшення і може у разі досягнення порогу чутливості виступати індикатором якісних характеристик металу.

Ключові слова: простір станів об'єкта ідентифікації; математичний простір; фрактальна розмірність; мікроструктура

BY THE DEFINITION OF THE METRIC OBJECT IDENTIFICATION

BOL'SHAKOV V. I.¹, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,
VOLCHUK V. M.^{2*}, *Dr. Sc. (Tech.), As. Prof.*,
DUBROV Yu. I.³, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*

¹ Department of Materials Science, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Chernyshevskogo str., Dnipro, 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: bolshakov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

^{2*} Department of Materials Science, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Chernyshevskogo str., Dnipro, 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: volchuky@yandex.ua, ORCID ID: 0000-0001-8717-6786

³ Department of Materials Science, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Chernyshevskogo str., Dnipro, 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: mom@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-3213-4893

Abstract. Formulation of the problem. As the studies found in basic and applied sciences, they can be interpreted as a search space metric state identification object (SSOI). In carrying out this research, increasing the complexity of its perception. This leads to the appearance of problems of identification, for which the existing methods, for example mathematical programming, are unsuitable, since they use mathematical causes serious difficulties. To overcome these difficulties, usually injected a single metric, which is completely arbitrary choice, which often leads to serious losses in the accuracy of identification, as "... some forces in nature follow one other of its special geometry" [1]. **Results and discussion.** Nonconservation SSOI measures, leads to the definition of its nonergodicity. The latter initiates the modification of "mathematical space", ie the construction of new, abstract schemes. Out of this situation, some researchers have found in the application of fractal geometry to identify the language. For greater reliability of the results may be that the sensitivity of the fractal dimension is determined in several randomly selected points SSOI. If the difference is obtained at these points exceeds the error indications, with which it is determined, the identifiable structure - fractal. Determine the sensitivity of micro-hardness of ferrite grains St3ps steel (0,16 % C) to their fractal dimension. Despite the fact that the steel structure of the entire cross section of the section of ferrite-pearlite properties, calculated in the three fiducial points, differ from each other, as evidenced by the change of the fractal dimension of its components. Sensitivity values 1,333...2,500 an order of magnitude higher than the values of error in determining the fractal dimension 0,1...0,3, which indicates the possibility of applying fractal theory to register qualitative transformation of the metal. **Conclusions.** This example confirms the fact that the structure is a steel St3ps fractal under consideration and may increase when reaching the threshold of sensitivity serve as an indicator of quality characteristics of the metal.

Keywords: state space object identification; mathematical space; fractal dimension; microstructure

Постановка задачі

По мере розвитку досліджень, зустрічаються в прикладних і фундаментальних науках, вони можуть інтерпретуватися як пошук метрики ПСОІ. При здійсненні цього пошуку зростає складність

єго восприятия. Последнее приводит к появлению задач идентификации, для решения которых существующие методы, например, математического программирования, оказываются непригодными, так как их применение вызывает серьезные математические трудности. Для преодоления этих трудностей, как правило, вводится единая метрика,

выбор которой совершенно произволен, что часто приводит к серьезным потерям в точности идентификации, поскольку «...некоторые силы в природе следуют одной, другие своей особой геометрии» [1]. Если же изотропность ПСОИ подтверждается экспериментами, то это часто объясняется технологическими ограничениями, допускающими проведение экспериментов в относительно узкой области ПСОИ. Для неэлементарного многообразия, которым можно интерпретировать область переменных ПСОИ, невозможно в целом ввести координатную систему с обычными требованиями взаимной однозначности и непрерывности соответствия [2; 3].

В этой связи геометрия многообразия должна быть задана множеством координатных систем, связанных между собой произвольными, взаимно однозначными преобразованиями, что для практических применений представляется чрезвычайно сложным.

Несохранение меры ПСОИ приводит к определению его *неэргодичности* [4–6]. Нарушение эргодичности, как правило, приводит к несоответствию между выводами, которые делает исследователь на основании анализа результатов экспериментов, и сделанными им наблюдениями. Последнее инициирует модификацию «математического пространства», т. е. построение новых, абстрактных схем, с большей полнотой, чем прежние, охватывающих феномены действительного. Выход из сложившейся ситуации некоторые исследователи находят в применении для идентификации языка фрактальной геометрии.

Результаты и их обсуждение

Такой подход должен базироваться на уверенности в том, что именно языком фрактальной геометрии можно адекватно описать объект идентификации. До настоящего времени эту проблему предлагалось решать при помощи критерия Ф. Такенса [7]. Выполнение условий, удовлетворяющих данному критерию, сводится к измерению характеристики объекта в разные моменты времени с некоторым интервалом Δt . В результате этих измерений получается ограниченная последовательность $\{a_i\}$, $0 \leq i < \infty$. Если для этой последовательности удастся построить гладкую детерминированную модель вида $\frac{dx}{dt} = f(x)$, то мы имеем дело со сложным детерминированным процессом и применять язык фрактальной геометрии нет необходимости.

Однако мы не всегда можем экспериментально получить нужную для проверки критерия Такенса последовательность, как не всегда мы можем получить выборку конечной длины N .

В этой связи предлагается заданием масштабного уровня [8] определять чувствительность фрактальной

размерности к той характеристике материала, на идентификацию которой она направлена [4], поскольку практически все материалы, включая металлы и сплавы, фрактальны на различных масштабных уровнях [9; 10].

Верхний масштабный уровень ограничен размерами целого объекта, а нижний ограничен его атомной структурой. При этом, если чувствительность фрактальной размерности выше погрешности, с которой она определяется, её можно применять для идентификации интересующей характеристики. В противном случае *мы имеем дело с детерминированным процессом, и применять язык фрактальной геометрии для идентификации метрики объекта нет смысла.*

Для большей достоверности получаемых результатов допускается, что чувствительность фрактальной размерности определяется в нескольких случайным образом выбранных точках ПСОИ [4]. Если разница полученных в этих точках показаний чувствительности фрактальных размерностей превышает погрешность, с которой она определяется, то метрика структуры фрактальна.

Например, чувствительность микротвердости зерен феррита стали СтЗпс (0,16 % С) к их фрактальной размерности, вычисленная в трех случайным образом выбранных точках на шлифе из круга $\varnothing 24$ мм на расстоянии $R=0$; $R=0,5$; $R=1$ радиуса составляет:

– между точками $R=0$ и $R=0,5$:

$$K_{0-0,5} = |Y_i - Y_{i+1}| / |X_i - X_{i+1}| = |1,160 - 1,180| / |1,964 - 1,979| = 1,333;$$

$$- K_{0,5-1} = |Y_i - Y_{i+1}| / |X_i - X_{i+1}| = |1,180 - 1,200| / |1,979 - 1,987| = 2,500;$$

$$- K_{0-1} = |Y_i - Y_{i+1}| / |X_i - X_{i+1}| = |1,160 - 1,200| / |1,964 - 1,987| = 1,739,$$

где X_i и X_{i+1} – два числа, характеризующие выбранное качество; Y_i и Y_{i+1} – соответствующие им численные значения фрактальных размерностей. При этом погрешность, получаемая при вычислении фрактальной размерности зерен феррита с применением известного метода Хаусдорфа [11], составляет 0,1...0,3 %.

Несмотря на то, что структура стали по всему сечению шлифа ферритно-перлитная (см. рисунок), свойства в трех реперных точках, как видим, значительно различаются между собой.

Численные значения чувствительности 1,333...2,500 на порядок превышают значения погрешности 0,1...0,3, что свидетельствует о возможности применения теории фракталов для определения выбранного показателя качества исследуемого металла.

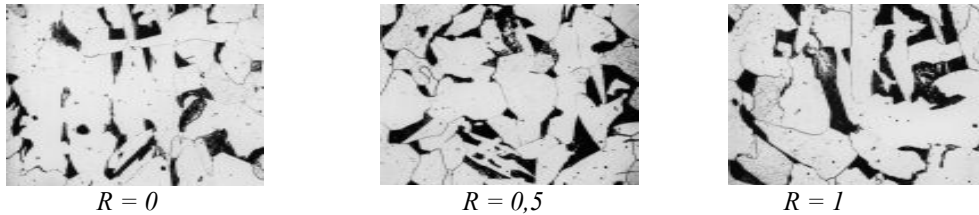


Рис. Структура сталі Ст3пс після охолодження на повітрі з температури 930 °С, $\times 500$ /
Fig. Structure steel St3ps after cooling in air from a temperature 930 °С, $\times 500$

Выводы

При дополнительных исследованиях природы объекта в некоторых случаях целесообразен переход от описания явлений традиционными детерминированными, статистическими или

имитационными моделями, к моделям, описываемым языком фрактальной геометрии.

Приведенный пример подтверждает тот факт, что структура стали Ст3пс является фрактальной для рассматриваемого увеличения и может при достижении порога чувствительности выступать индикатором качественных характеристик металла.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Лобачевский Н. И. Полное собрание сочинений / Н. И. Лобачевский. – Москва – Ленинград : Гостехиздат, 1949. – Т. 11. – С. 158–159. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%BE%D0%B1%D0%B0%D1%87%D0%B5%D0%B2%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%9D%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%B0%D0%B9_%D0%98%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%87
2. Большаков Вад. І. Про неповноту формальної аксіоматики в задачах ідентифікації структури металу / Вад. І. Большаков, В. І. Большаков, Ю. І. Дубров // Вісник НАН України. – 2014. – № 4. – С. 55–59. – Режим доступа: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/69367>
3. Працьовитий М. В. Фрактальний підхід у дослідженнях сингулярних розподілів / М. В. Працьовитий – Київ : Національний педагогічний університет ім. М. П. Драгоманова, 1998. – 295 с. – Режим доступа: http://library.kpi.ua:8991/F?func=find-b&request=000125951&find_code=SYS
4. Большаков В. И. Об оценке применимости языка фрактальной геометрии для описания качественных трансформаций материалов / В. И. Большаков, Ю. И. Дубров // Доповіди НАН України. – № 4. – 2002. – С. 116–121. – Режим доступа: <http://www.dopovidi.nas.gov.ua/>
5. Биллингслей П. Эргодическая теория и информация / П. Биллингслей. – Москва : Мир, 1969. – 238 с. – Режим доступа: <http://library.univer.kharkov.ua/OpacUnicode/index.php?url=/notices/index/IdNotice:58905/Source:default>
6. Ланге О. Целое и развитие в свете кибернетики / О. Ланге // Исследование по общей теории систем. – Москва : Прогресс, 1969. – С. 181–252. – Режим доступа: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1636898>
7. F. Takens. Detecting strange attractors in turbulence / Takens F. // In D.A. Rand and L.-S. Young. Dynamical Systems and Turbulence, Lecture Notes in Mathematics. – Springer-Verlag. – Vol. 898. – 1981. – Pp. 366–381. – Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Takens%27_theorem
8. Большаков В. И. Особенности применения мультифрактального формализма в материаловедении / В. И. Большаков, В. Н. Волчук, Ю. И. Дубров // Доповіди НАН України. – 2008. – № 11. – С. 99–107. – Режим доступа: <http://www.dopovidi.nas.gov.ua/2008-11/08-11-17.pdf>
9. Mandelbrot B.B. The Fractal Geometry of Nature / B.B. Mandelbrot. – New-York, San Francisco : Freeman, 1982. – 480 p. – Режим доступа: <http://www.amazon.com/Fractal-Geometry-Nature-Benoit-Mandelbrot/dp/0716711869>
10. Федер Е. Фракталы / Е. Федер. – Москва : Мир, 1991. – 254 с. – Режим доступа: <http://inis.jinr.ru/sl/vol2/Physics/Динамические%20системы%20и%20Хаос/Федер%20Е.%20Фракталы.%201991.pdf>
11. Hausdorff G. Dimension und auberes Mab. / G. Hausdorff. // Math. Ann. – 1919. – Vol. 79. – Pp. 157–179. – Режим доступа: <http://gdz.sub.uni-goettingen.de/dms/load/img/?PID=GDZPPN002266989>

REFERENCES

1. Lobachevsky N.I. *Polnoye sobraniye sochineniy* [Complete Works]. Moscow–Leningrad : Gostekhizdat Publ., 1949, vol. 11, pp. 158–159. (in Russian).
2. Bol'shakov Vad.I., Bolshakov V.I. and Dubrov Yu.I. *Pro nepovnotu formalnoyi aksiomatyky v zadachakh identyfikatsiyi struktury metalu* [About incompleteness formal axiomatic in problems of identification of metal structure]. *Visnyk akademiyi nauk Ukrainy* [Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine]. 2014, no. 4, pp. 55–59. (in Ukrainian).
3. Pratsovity M.V. *Fractal pidhid in doslidzhennyah singularly rozpodiliv* [Fractal hard-working approach to research singular distributions]. Kyiv : Natsionalny pedagogichny University imeni Dragomanova Publ., 1998, 295 p. (in Ukrainian).
4. 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 Ria-quality transformation

of materials]. *Dopovidi akademiyi nauk Ukrayiny* [Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine]. 2002, no. 4, pp. 116–121. (in Russian).

5. Billingsley P. *Ergodicheskaya teoriya i informatsiya* [Ergodic theory and information]. Moscow : Mir Publ., 1964, 238 p. (in Russian).

6. Lange A. *Tseloye i razvitiye v svete kibernetiki* [Whole and in the light of the development of cybernetics]. Moscow : Progress Publ., 1969, pp. 181–252. (in Russian).

7. F. Takens. Detecting strange attractors in turbulence. In D. A. Rand and L.-S. Young. *Dynamical Systems and Turbulence*, Lecture Notes in Mathematics, Springer-Verlag, vol. 898, 1981, pp. 366–381. (in English).

8. Bolshakov V.I., Volchuk V.N. and Dubrov Yu.I. *Osobennosti primeniya mul'tifraktal'nogo formalizma v materialovedenii* [Features of the multifractal formalism in materials]. *Dopovidi akademiyi nauk Ukrayiny* [Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine]. 2008, no. 11, pp. 99–107. (in Russian).

9. Mandelbrot B.B. *The Fractal Geometry of Nature*. New-York, San Francisco : Freeman, 1982, 480 p.

10. Feder E. *Fraktaly* [Fractals]. Moscow : Mir Publ., 1991, 254 p. (in Russian).

11. Hausdorff G. Dimension und auBeres Mab. *Math. Ann.* 1919, vol. 79, pp. 157–179. (in Germany).

Поступила в редколлегию 30.10.2016

Принята к печати 07.11.2016