

Застосування методу фрактального аналізу до вивчення структури металу

О. О. Штофель, асистент кафедра загальної фізики та фізики твердого тіла,
o.shtof@gmail.com

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ

Традиційні методи геометричної оцінки форми різних предметів, в тому числі і в металознавстві, засновані на наблизеній апроксимації структури досліджуваного об'єкта геометричними фігурами, наприклад лініями, відрізками, площинами, багатокутниками, багатогранниками, сферами. Всі ці прийоми ґрунтуються на класичній евклідовій геометрії з цілою топологічною розмірністю. Для кількісного опису фракталів достатньо однієї величини – фрактальної розмірності або параметра, що описує збереженість статистичних характеристик при зміні масштабу. Аналіз традиційних методів дослідження структури металів – світлової та електронної мікроскопії, кількісної металографії, кристалографічної текстури з використанням рентгеноструктурного аналізу, свідчить про те, що жоден з них не може бути універсальним і придатним для вирішення повного обсягу завдань ідентифікації кількісних характеристик структури металу. В металографії фрактальний аналіз стосується мікроскопічних зображень поверхонь матеріалів. При цьому за допомогою мультифрактальних характеристик можна описати структуру і деякі властивості матеріалів, а саме: ступінь шорсткості поверхонь, хімічні зміни поверхні, деформацію матеріалів тощо. Описано застосування методу фрактального аналізу до загального поняття структури металу, описаної ГОСТами 5639-82 та 8233-56. За допомогою написаного автором програмного засобу, який дозволяє швидко підрахувати фрактальну розмірність структури металу при різних збільшеннях та з різним номером зерен. Описано алгоритм пошуку фрактальної розмірності та наведено приклад застосування програмного засобу для швидкого пошуку фрактальної розмірності. Проведено аналіз впливу структурних параметрів на значення фрактальної розмірності. Аргументовано вибір ферито-перлітних сталей та показано до якої структури металу можливо в подальшому застосувати метод фрактального аналізу та шукати кореляції із фізико-механічними властивостями.

Ключові слова: *фрактальна розмірність, структура металу, ферито-перлітні сталі, програмні засоби.*

Фрактальна геометрія набула поширення в металознавстві завдяки роботам В.С. Іванової та ін.[1, 2], в яких проводиться чітка лінія зв'язку між поняттями синергетики і фракталами – самоподібними об'єктами з дробовою розмірністю, які мають властивість масштабної інваріантності, та поняттям структура металу. Загальне поняття структури в роботах задовольняє визначенню Кребера: «Кожна система складається з елементів,

Методи дослідження та контролю якості металів

що впорядковані певним чином та пов'язані певними співвідношеннями. Під структурою системи ми розуміємо спосіб організації елементів і характер її зв'язку між ними. При цьому не суттєво, яка пророда елементів. Кажучи про структуру системи, ми не звертаємо уваги на то, які елементи складають систему, а розглядаємо лише сукупність співвідношень, яка задає зв'язок між елементами системи» [3]. В металознавстві розглядають мікро- та макро-структури матеріалів, зв'язок структура-склад-властивості [4, 5].

Отже, метою роботи є спроба пов'язати кількісні характеристики основних елементів мікроструктури з фрактальною розмірністю та описати процес пошуку фрактальної розмірності. Такий підхід до вивчення структури металу та її відповідних характеристик дає можливість під іншим кутом проаналізувати процеси, які відбуваються в металі.

У даній роботі описується пошук фрактальної розмірності методом Мінковського [6, 7], який застосовується до зображення структури і співставляється з її характеристиками. Для початку були взяті мікроструктури розподілені за номером зерна згідно державного стандарту ГОСТ 5639-82 [8], та підрахована фрактальна розмірність структури, яка відповідає певному балу (рис. 1). Даний пошук кореляцій в подальшому дає можливість коректно застосовувати фрактальний аналіз до різних мікроструктур.

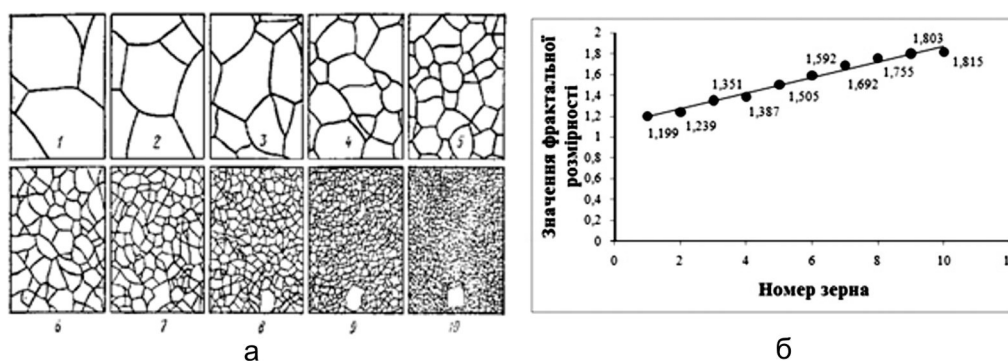


Рис. 1. Зіставлення розмірів зерен (а) (ГОСТ-5639-82) з фрактальною розмірністю їх границь (б).

Пошук фрактальної розмірності відбувався наступним чином: з ГОСТу були взяті зображення еталонних мікроструктур (рис. 1 а). Далі виконується цикл підрахування кількості інформації, яка попадає у квадрати сітки, що накладається на зображення. Розмір сітки з кожною наступною процедурою змінюється від максимального (залежить від розміру взятого зображення) до 1 пікселя. Після одержання кількості інформації (підрахунок всіх границь зерен), далі переходимо до розрахунку фрактальної розмірності за методом найменших квадратів (рис. 2).

Весь алгоритм який був виконаний програмою, можна виконати самостійно зробивши сітки з квадратами різного розміру та накладати їх на зображення, але це займає багато часу і виникає груба похибка підрахунку.

Зазвичай для кількісного металографічного аналізу структурних складових застосовують лінійний або планіметричний метод. Вважаючи метод фрактального аналізу адаптованим на прикладі ГОСТу 5639-82 для

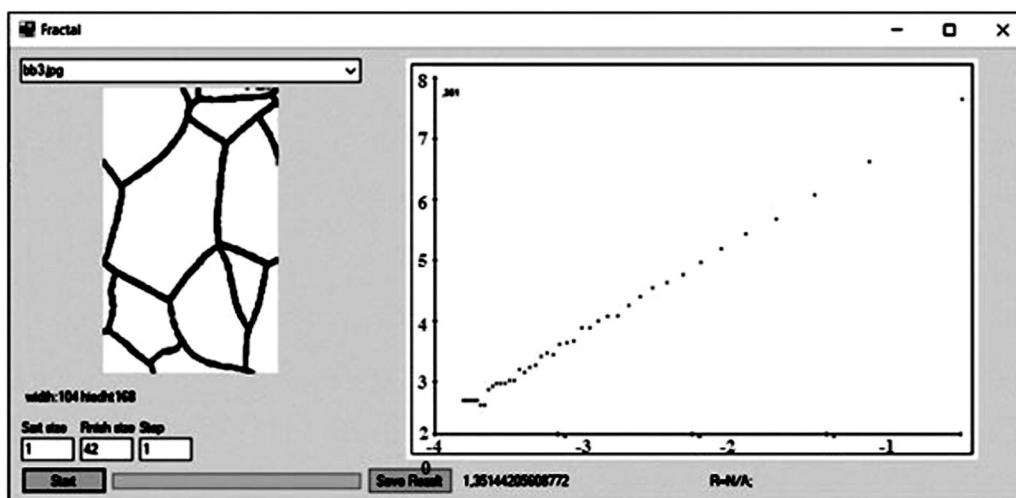


Рис. 2. Програмний супровід дня підрахунку фрактальної розмірності.

розмірів зерен, застосуємо його до ГОСТу 8233-56 [9], який містить інформацію про основні елементи мікроструктури: перліту, мартенситу, нітридів і карбідів (таблиця).

Фрактальні розмірності D_i для шкал основних елементів структури сталі – перліту, мартенситу, нітридів і карбідів

D_i	Номер зерна									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D_1^*	1,816	1,804	1,809	1,814	1,818	1,812	1,796	1,790	1,785	1,780
D_2^*	1,786	1,743	1,766	1,738	1,742	1,749	1,729	1,72	1,707	1,695
D_3^*	1,791	1,804	1,801	1,798	1,785	1,797	1,804	1,79	1,795	1,775
D_4^*	1,397	1,42	1,425	1,436	1,444	1,455	1,47	1,48	1,498	1,520
D_5^*	1,831	1,787	1,781	1,787	1,786	1,783	-	-	-	-
D_6^*	1,811	1,790	1,785	1,796	1,794	1,792	-	-	-	-
D_7^*	1,758	1,717	1,737	1,738	1,746	1,771	1,771	1,77	1,783	1,777
%	0	5	20	35	50	65	75	85	95	100
D_8^*	1,809	1,775	1,739	1,708	1,712	1,727	1,731	1,73	1,726	1,783
%	0	25	50	75	85	90	95	97,5	99	100
D_9^*	1,794	1,768	1,73	1,755	1,766	1,737	1,717	1,73	1,727	1,744
%	0	5	20	35	50	65	85	90	95	100

Визначення фрактальної розмірності (*) наведено в таблиці: при збільшенні 1000 дисперсності пластинчастого D_1 та зернистого D_2 перліту; розмірів голок мартенситу D_3 ; нітридів D_4 при збільшенні 500; карбідної сітки D_5 при збільшенні 500 та карбідної неоднорідності D_6 – при збільшенні

Методи дослідження та контролю якості металів

100; співвідношення фериту і перліту D_7 в структурі незалежно від характеру перлітових ділянок (пластинчастий, зернистий, сорбітообразного) – при збільшенні 100 (середній відсоток площі, зайнятої перлітом); співвідношення мартенситу (середній відсоток площі, зайнятої мартенситом) і троститу в структурі D_8 – при збільшенні 500; співвідношення зернистого (середній відсоток площі, зайнятої зернистим перлітом) і пластинчастого перліту D_9 – при збільшенні 500.

Виявлено певну залежність для: дисперсності пластинчастого D_1 і зернистого D_2 перліту (рис. 3 а); нітридів D_4 (рис. 3 б). Спостерігаємо схожу динаміку зміни фрактальної розмірності карбідної сітки D_5 при збільшенні 500 та карбідної неоднорідності D_6 – при збільшенні 100 (рис. 3 в). На рис. 3 г, виключаючи нульову точку, де частка перліту є 0%, спостерігаємо лінійну залежність фрактальної розмірності та співвідношення фериту та перліту D_7 .

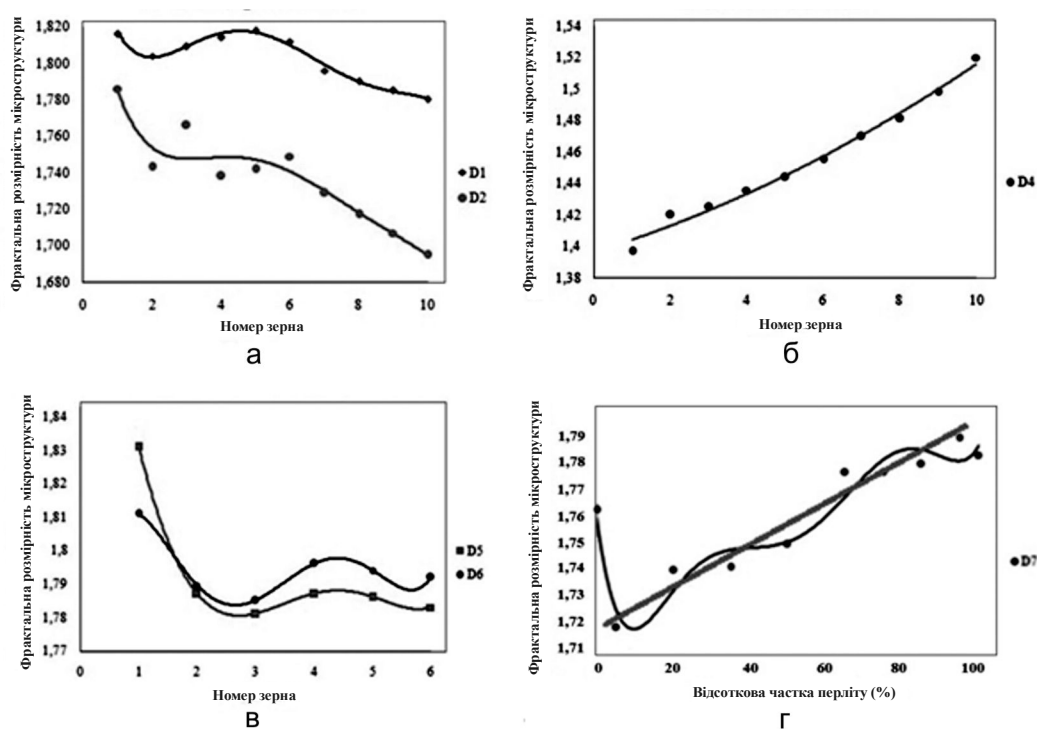


Рис. 3. Фрактальні розмірності D_i для шкал основних елементів структури сталі: а – дисперсності пластинчастого D_1 та зернистого D_2 перліту (x1000); б – нітридів D_4 (x500); в – карбідної сітки D_5 (x500) та карбідної неоднорідності D_6 (x100); г – співвідношення фериту і перліту D_7 в структурі незалежно від характеру перлітових ділянок (x100).

Явної залежності не виявлено для: розмірів голок мартенситу D_3 ; співвідношення мартенситу і троститу в структурі D_8 ; співвідношення зернистого і пластинчастого перліту D_9 .

Таким чином, встановлено, що фрактальна розмірність, яка лінійно залежить від номеру зерна та інших елементів структури металу, відкриває додаткові можливості їх кількісної оцінки методом фрактального аналізу.

Література

1. Иванова В.С., Кузеев И.Р., Закиричная М.М. Синергетика и фракталы. Универсальности механического поведения материалов. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 1998. – 363 с. ISBN 5-7831-0190-7
2. Иванова В.С., Баланкин А.С., Бунин И.Ж., Оксогоев А.А. Синергетика и фракталы в материаловедении. – М.: Наука, 1994. – 382 с.
3. Эбелинг В. Образование структур при необратимых процессах. – М.: Мир, 1979. – 275 с.
4. Барретт Ч.С. Структура металлов. Кристаллографические методы, принципы и данные. Издание первое: Перевод под ред. Я.С. Уманского. – М.: Металлургиздат, 1948. – 678 с.
5. Гуляев А.П. Металловедение: Учебник для вузов. 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1986. – 544 с.
6. Кроновер Р.М. Фракталы и хаос в динамических системах. Основы теории. Учебное пособие. – М.: Постмаркет, 2000. – 352 с.
7. Штофель О.А., Рабкина М.Д. Использование мультифрактального анализа для оценки свойств конструкционных сталей // Universum: Технические науки: электрон. научн. журн. – 2016. – № 10 (31).
8. ГОСТ 5639-82 Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна. [Введен в действие 01.01.1983]. М.: ИПК Издательство стандартов. 1983. – 21 с.
9. ГОСТ 8233-56 Сталь. Эталоны микроструктуры. [Введен в действие 01.07.1957]. М.: ИПК Издательство стандартов. 1957. – 12 с.

References

1. Ivanova V.S., Kuzeev I.R., Zachirichnaya M.M. *Sinergetika i fraktaly. Universalnosti mekhanicheskogo povedeniya materialov* (Synergetics and fractals. The universality of the mechanical behavior of materials), Ufa:UGNTU, 1998, 363 p. ISBN 5-7831-0190-7 [in Russian].
2. Ivanova V.S., Balankin A.S., Bunin Z.H., Oksogoyev A.A. *Sinergetika i fraktaly v materialovedenii* (Synergetic and fractals in materials science), Moskva: Nauka, 1994, 382. p. [in Russian].
3. Ebeling V. *Obrazovaniye struktur pri neobratimyykh protsessakh* [Formation of structures during irreversible processes], Moskva: Mir, 1979, 275 p. [in Russian].
4. Barrett Ch.S. *Struktura metallov. Kristallograficheskiye metody, printsipy i dannyye* (The structure of metals. Crystallographic methods, principles and data), Perevod pod redaktsiyey A.S. Umanского, Moskov: Metallurgizdat, 1948, 678p. [in Russian].
5. Gulyayev A.P. *Metallovedeniye: Uchebnik dlya vuzov* (Metallurgy: A textbook for universities), Moskva: Metallurgiya, 1986, 544p. [in Russian].
6. Kronover R.M. *Fraktaly i khaos v dinamicheskikh sistemakh. Osnovy teorii* (Fractals and chaos in dynamic systems. Fundamentals of the theory), Uchebnoye posobiye, Moskov: Postmarket, 2000, 352 p. [in Russian].
7. Shtofel O.A., Rabkina M.D., Universum: Tekhnicheskkiye nauki: elektron. nauchn. zhurn., 2016, No 10 (31). [in Russian].
8. GOST 5639-82 *Stali i splavy. Metody vyyavleniya i opredeleniya velichiny zerna* (Steel and alloys. Methods for identifying and determining grain size), Moskva: IPK Izdatelstvo standartov, 1983, 21 p. [in Russian].

9. GOST8233-56 *Stal. Etalony mikrostruktury* (Steel. Microstructure standards), Moskva: IPK Izdatelstvo standartov, 1957, 12 p. [in Russian].

Одержано 25.08.19

О. О. Штофель

Применение метода фрактального анализа к изучению структуры металла

Резюме

Традиционные методы геометрической оценки формы различных предметов, в том числе и в материаловедении, основанные на приближенной аппроксимации структуры исследуемого объекта геометрическими фигурами, например линиями, отрезками, плоскостями, многоугольниками, многогранниками, сферами. Все эти приемы основаны на классической евклидовой геометрии с целой топологической размерностью. Для количественного описания фракталов достаточно одной величины – фрактальной размерности или параметра, описывающего неизменность статистических характеристик при изменении масштаба. Анализ традиционных методов исследования структуры металлов – световой микроскопии, количественной металлографии, кристаллографической текстуры, свидетельствует о том, что ни один из них не может быть универсальным и пригодным для решения полного объема задач идентификации количественных характеристик структуры металла. В металлографии фрактальный анализ касается микроскопических изображений поверхностей материалов. При этом с помощью фрактальных характеристик можно описать структуру и некоторые свойства материалов, а именно: степень шероховатости поверхностей, химические изменения поверхности, деформацию материалов и др. В данной работе описано применение метода фрактального анализа применительно к структуре металла, в соответствии с ГОСТами 5639-82 и 8233-56. С помощью разработанного автором программного средства, позволяющего быстро подсчитать фрактальную размерность, подсчитана фрактальная размерность структуры металла при различных увеличениях и с разным номером зерен. Описанный алгоритм поиска фрактальной размерности и приведен пример применения программного средства для быстрого поиска фрактальной размерности. Проведен анализ влияния структурных параметров на значение фрактальной размерности. Аргументирован выбор феррито-перлитных сталей и показано для каких структур металла возможно в дальнейшем применить метод фрактального анализа и искать корреляции с физико механическими свойствами.

Ключевые слова: фрактальная размерность, структура металла, феррито-перлитные стали, программные средства.

O. O. Shyofel

Application of the method of fractal analysis to the study of metal structure

Summary

The traditional methods for geometric estimation of the shape of various objects, including materials science, based on approximate approximation of the structure of the

Методи дослідження та контролю якості металів

object under study by geometric figures, for example, lines, segments, planes, polygons, polyhedra, spheres. All these techniques are based on a classical Euclidean geometry with an integer topological dimension. For a quantitative description of fractals, one quantity is enough - the fractal dimension or a some parameter that describes the invariability of statistical characteristics when the scale changes. An analysis of traditional methods for studying the structure of metals – optical microscopy, in particular, quantitative metallography, electronic microstructure, and crystallographic texture by structural analysis, indicates that none of them can be universal and suitable for solving the full scope of the tasks of identifying quantitative characteristics of a metal by analysis its structure. In a metallography, fractal analysis refers to the microscopic images of the surfaces of materials. In this case, using fractal characteristics, one can describe the structure and mechanical properties of materials, like the degree of surface roughness, chemical surface changes, deformation of materials, etc. This article describes the application of the fractal analysis method to the general concept of the metal structure described by GOST 5639-82 and 8233-56. With the help of a software tool written by the author that allows you to quickly calculate the fractal dimension, the calculated fractal dimension of the metal structure about various magnifications and various balls of grains. The described algorithm for searching for fractal dimension and an example of the use of software for quick search of fractal dimension. The analysis of the influence of structural parameters on the value of fractal dimension is carried out. The choice of ferrite-pearlite steels is reasoned and it is analyzed which metal structures it is possible to further apply the fractal analysis method and look for correlations with physicomechanical properties.

Keywords: fractal dimension, metal structure, ferrite-pearlitic steels, software tools.

Шановні колеги!

Триває передплата на науково-технічний журнал «Металознавство та обробка металів» на 2020 р.
Для регулярного одержання журналу потрібно перерахувати вартість заказаних номерів на розрахунковий рахунок Фізико-технологічного інституту металів та сплавів НАН України.
Вартість одного номера журналу – 50 грн., передплата на рік – 200 грн.

Ціна архівних номерів 1995 – 2018 рр. – 10 грн.

Розрахунковий рахунок для передплатників, спонсорів і рекламодавців:

банк ДКСУ в м. Києві, р/р 31257293112215, код банку 820172

Отримувач – ФТІМС НАН України, код ЄДРПОУ 05417153,

з посиланням на журнал "ММ".

Копію документа передплати та відомості про передплатника

просимо надсилати до редакції,

вказавши номер і дату платіжного документа.