

## БОЛЬШАКОВ

**Вадим Іванович** – академік НАН України, доктор технічних наук, професор, директор Інституту чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України

## БОЛЬШАКОВ

**Володимир Іванович** – доктор технічних наук, професор, ректор Придніпровської державної академії будівництва та архітектури

## ВОЛЧУК

**Володимир Миколайович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри матеріалознавства та обробки матеріалів Придніпровської державної академії будівництва та архітектури

## ДУБРОВ

**Юрій Ісайович** – доктор технічних наук, професор кафедри матеріалознавства та обробки матеріалів Придніпровської державної академії будівництва та архітектури

УДК 519.21

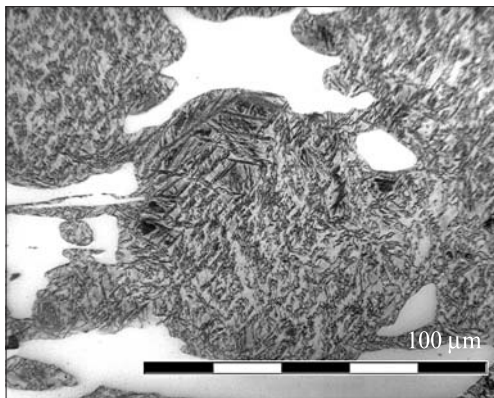
# ЧАСТКОВА КОМПЕНСАЦІЯ НЕПОВНОТИ ФОРМАЛЬНОЇ АКСІОМАТИКИ ПРИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ СТРУКТУРИ МЕТАЛУ

*У роботі показано, що часткове усунення неповноти формальної аксіоматики тверджень про неповноту структури металу, згідно з теоремою Геделя, можливе шляхом апроксимації цієї структури за допомогою мови фрактальної геометрії.*

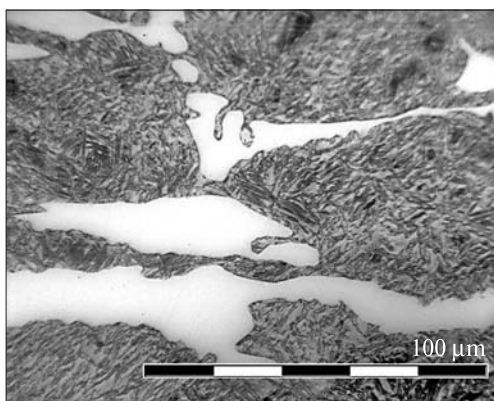
**Ключові слова:** фрактальна розмірність, характеристики якості, структура, принципи «зовнішнього доповнення».

У теоремі Геделя про неповноту доведено, що в теоріях, які конструюються на основі формальної аксіоматики, значення вихідних термінів та їх інтерпретації є неповними, що зумовлено мовною неповнотою тверджень [1, 2].

Поширюючи висновки з цієї теореми на інтерпретацію твердження, яке визначає, наприклад, те чи інше числове значення якості будь-якого металу, приймаємо, що твердження є неповним. Ця неповнота зумовлена певною невизначеністю, спричиненою передусім відносністю вимірювань, без яких неможливо обійтися, визначаючи ту чи іншу закономірність, і неминучою неповнотою формулювань тверджень, зроблених мовою, якою інтерпретуються ці твердження. Для часткового усунення неповноти формальної аксіоматики тверджень С. Бір рекомендував використовувати принцип «зовнішнього доповнення», оснований на застосуванні для формулювання тверджень мови вищого рівня [3]. Вибрані нові рішення, висловлені мовою вищого рівня, покликані усунути недоліки первісно використаної мови [4]. Застосування цього практичного методу спрямоване на часткове подолання складності, яка є наслідком, що впливає з теореми Геделя. Щоб вийти за рамки первісної мови, але водночас не відірватися від реальної ситуації, на думку С. Біра, слід прив'язатися до такої властивості системи, яка нерозривно пов'язана з її дійсним існуванням.



Валок № 26



Валок № 28

**Рис. 1.** Структура низу бочки валків, яка складається з бейніту, мартенситу, цементиту і включень кулястого графіту ( $\times 500$ )

Очевидно, що для більшості матеріалів такою властивістю є характеристика їхньої якості. Щоб це показати, розглянемо наявні на сьогодні процеси ідентифікації структури матеріалу, яка, як свідчить досвід і численні теоретичні дослідження, є відображенням характеристик його якості [5]. При цьому апроксимація елементів структури зі складною геометричною конфігурацією форми, як правило, виконується цілочисловими фігурами Евкліда [6], що дає певну похибку в знаходженні характеристик якості матеріалу. Цей факт ініціює необхідність можливої заміни геометричних характеристик елементів структури (довжина, площа, об'єм) на більш диференційовану розмірнісну оцінку, яка має частково компенсувати неповноту наявної формальної аксіоматики.

З метою часткового усунення неповноти формальної аксіоматики тверджень, що продукуються при ідентифікації структури металу, згідно з принципом зовнішнього доповнення С. Біра, використовуємо для формулювання тверджень мову вищого рівня, яка має усувати недоліки первісно використаної мови.

З нашого погляду, для часткової компенсації неповноти формальної аксіоматики структури металу мовою вищого рівня є мова фрактальної апроксимації структури металу. Такий вибір ґрунтується на тому, що величезна кількість реальних фізичних систем має (у відповідних діапазонах масштабів) фрактальну природу, що характеризується дробовою розмірністю [7]. Враховуючи відсутність задовільних математичних описів процесів, які відбуваються, скажімо, при легуванні металів (тобто таких описів, що застосовувалися б у практичних розрахунках і були б достатньо надійними), можна припустити, що така складна система, як метал, точніше, її складові, має не цілу, а дробову розмірність, тобто ця система належить до фракталів. Поняття фракталу практично пов'язане як з характеристикою структури металу, так і з фізичними характеристиками виробів, які з нього виготовляють: шорсткою поверхнею, об'ємом, густиною тощо.

Покажемо, як відрізняються характеристики якості металу (наприклад, чавуну) при використанні для апроксимації його структури методу металографічного аналізу і методу, оснований на теорії фракталів [8].

У конкретному прикладі для достовірності експерименту виконаємо дослідження структури двох ідентичних чавунних валків № 26 і № 28 марки СШХНМ-55, відлитих в однакових технологічних умовах. При цьому було отримано шліфи, які на фото візуально виглядають різними (рис. 1).

Відмінність у зображенні шліфів, імовірно, зумовлена певною невизначеністю, спричиною насамперед відносною застосовуваних вимірювань, а неповнота тверджень, які інтерпретують результати експериментів, — їх традиційною формальною аксіоматикою. Незалежно від ступеня візуальної збіжності зо-

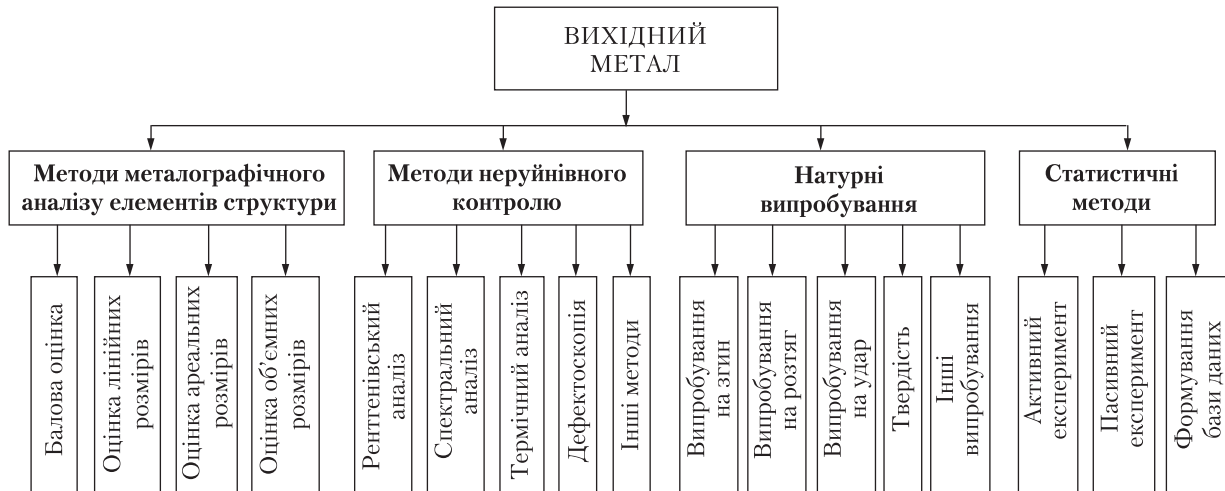


Рис. 2. Методи визначення характеристик якості металу

### Характеристики структури і твердості валків на відстані 15 мм від поверхні

Характеристика	Валок № 26			Валок № 28		
	Низ бочки	Верхній трэф	Нижній трэф	Низ бочки	Верхній трэф	Нижній трэф
Фрактальна розмірність:						
цементиту	1,935	1,971	1,939	1,938	1,969	1,947
меж цементитних включень	1,384	1,416	1,399	1,390	1,418	1,409
графіту	1,707	1,880	1,870	1,724	1,920	1,888
меж графітових включень	1,080	1,226	1,222	1,385	1,257	1,261
Твердість за Шором:						
визначена натурними випробуваннями	60	55	58	61	55	58
з урахуванням фрактальної розмірності структури	58	54	56	61	53	57

бражень структури шліфів, унаслідок їх статистичної «подібності», вони можуть майже однаковою мірою відображувати характеристики якості чавуну, що на сьогодні задовольняє практичне застосування результатів такого аналізу. З наявних методів ідентифікації структури і властивостей чавуну (рис. 2) було обрано саме метод металографічного аналізу, як найбільш наукомісткий і продуктивний.

При цьому порівнювали числові значення показників якості, отримані шляхом аналізу структури чавунних валків на трьох ділянках: низ бочки, верхній трэф і нижній трэф. Структура цих ділянок однакова за складом, але

різна за геометричною формою своїх елементів (рис. 1).

Результати проведеного металографічного аналізу ідентичні для валків № 26 та № 28, тобто:

Ц 25 → Ц п6000 → ШГ ф4 →  
→ ШГ д25 → ШГ р1 → ШГ 2,

де Ц – цементит, ШГ – кулястий графіт.

Оцінку структури чавуну, визначену на основі аналізу фрактальної розмірності елементів його структури, наведено в таблиці. За результатами аналізів визначали також таку характеристику якості валків, як твердість.

Твердість обчислювали статистично з урахуванням фрактальної розмірності структури за рівняннями:

$$\text{HSD} = 11571D_{\text{ц}}^3 - 65754D_{\text{ц}}^2 + 124279D_{\text{ц}} - 78058;$$

$$\text{HSD} = 1719,5D_{\text{Г}}^3 - 9594,7D_{\text{Г}}^2 + 17792D_{\text{Г}} - 10906,$$

де HSD — твердість за Шором,  $D_{\text{ц}}$  і  $D_{\text{Г}}$  — фрактальна розмірність цементиту і графіту відповідно.

Твердість чавуну, обчислена за цими рівняннями, несуттєво відрізняється від твердості, отриманої проведенням натурних випробувань (розбіжність до 4%), що свідчить про доцільність використання мови фрактальної геометрії для оцінки якості металу.

Отримані результати показують, що характеристики якості металу, обчислені з урахуванням фрактальних розмірностей його структури, економічно доцільно здійснювати, мінімізуючи число натурних випробувань.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Клини С.К. Введение в математику. — М.: ИЛ, 1957. — 527 с.
2. Успенский В.А. Теорема Геделя о неполноте. — М.: Наука, 1982. — 110 с.
3. Бир С. Кибернетика и управление производством. — М.: Наука, 1963. — 276 с.
4. Большаков Вад.И., Большаков В.И., Дубров Ю.И. Про неповноту формальної аксіоматики в задачах ідентифікації структури металу // Вісн. НАН України. — 2014. — № 4. — С. 55–59.
5. Гуляев А.П. Металловедение. — М.: Металлургия, 1986. — 544 с.
6. Салтыков С.А. Стереометрическая металлография. — М.: Металлургия, 1976. — 270 с.
7. Mandelbrot B.B. The Fractal Geometry of Nature. — N.Y., San Francisco: Freeman, 1983. — 480 p.
8. Большаков В.И., Волчук В.Н., Дубров Ю.И. Фракталы в материаловедении. — Дн-вск: ПГАСА, 2006. — 253 с.

Стаття надійшла 11.10.2013.

*В.И. Большаков<sup>1</sup>, В.И. Большаков<sup>2</sup>, В.Н. Волчук<sup>2</sup>, Ю.И. Дубров<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова Национальной академии наук Украины  
пл. Ак. Стародубова, 1, Днепропетровск, 49050, Украина

<sup>2</sup> Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры  
ул. Чернышевского, 24а, Днепропетровск, 49600, Украина

#### ЧАСТИЧНАЯ КОМПЕНСАЦИЯ НЕПОЛНОТЫ ФОРМАЛЬНОЙ АКСИОМАТИКИ ПРИ ИДЕНТИФИКАЦИИ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛА

В работе показано, что частичное устранение неполноты формальной аксиоматики утверждений о неполноте структуры металла, согласно теореме Геделя, возможно путем аппроксимации этой структуры с помощью языка фрактальной геометрии.

**Ключевые слова:** фрактальная размерность, характеристики качества, структура, принцип «внешнего воздействия».

*V.I. Bol'shakov<sup>1</sup>, V.I. Bol'shakov<sup>2</sup>, V.N. Volchuk<sup>2</sup>, Yu.I. Dubrov<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Nekrasov Iron and Steel Institute of National Academy of Sciences of Ukraine  
1 Ac. Starodubov St., Dnipropetrovs'k, 49050, Ukraine

<sup>2</sup> Prydneprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture  
of Ministry of Education and Science of Ukraine  
24-a Chernyshevsky St., Dnipropetrovs'k, 49600, Ukraine

#### THE PARTIAL COMPENSATION OF INCOMPLETENESS OF FORMAL AXIOMATICS IN THE IDENTIFICATION OF THE METAL STRUCTURE

It is shown that the partial elimination of the incompleteness of formal axiomatics statements about the incompleteness of the metal structure, according to Gödel's theorem, is possible by fitting this structure using the language of fractal geometry.

**Keywords:** fractal dimension, quality specifications, structure, the principle of “external additions”.