

10. Волчук В. М., Рожко І. І. ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕОРІЇ ФРАКТАЛІВ ДЛЯ ОЦІНКИ ЯКОСТІ МАТЕРІАЛІВ. Сучасний рух науки: тези доп. III міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, 1-2 жовтня 2018 р. – Дніпро, 2018. – 748 с.: 109.

11. Волчук В. Н. Разработка и исследование метода определения качественных характеристик металла на основе анализа фрактальной размерности его микроструктуры: дисс. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук : 05.02.01 / Волчук Владимир Николаевич. – Днепропетровск, 2003. – 114 с.

12. Большаков В. И. К определению метрики объекта идентификации / В. И. Большаков, В. Н. Волчук, Ю. И. Дубров // Металлознавство та термічна обробка металів. – 2016. – № 4. – С. 10–14.

13. Большаков В. И. Особенности применения мультифрактального формализма в материаловедении / В. И. Большаков, В. Н. Волчук, Ю. И. Дубров // Доповіді НАН України. – 2008. – № 11. – С. 99–107.

14. Большаков В. І., Дубров Ю. І., Криулін Ф. В., Волчук В. М. Патент на винахід № 51439А. Спосіб визначення фрактальної розмірності зображення. – Бюл. № 11. – 15.11.2002.

## **МУЛЬТИФРАКТАЛЬНИЙ АНАЛІЗ СТРУКТУРИ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ ПРОКАТНИХ ВАЛКІВ**

**Волчук В.М.**

Державний вищий навчальний заклад  
«Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»,  
д.т.н., професор кафедри матеріалознавства та обробки матеріалів,  
доцент (<https://orcid.org/0000-0001-7199-192X>, [volchuky@gmail.com](mailto:volchuky@gmail.com))

**Аксаков М.О.**

Державний вищий навчальний заклад  
«Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»,  
магістр 1 курсу кафедри матеріалознавства та обробки матеріалів

Для ідентифікації багатопараметричних технологій застосовують різноманітні методики, що базуються, здебільшого, на системному підході [1-8].

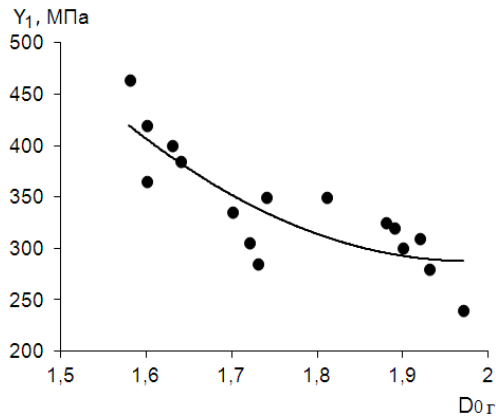
Перспективним напрямком оцінки структури та властивостей масивного металевого лиття, зокрема чавунних прокатних валків, стало застосування мультифрактального формалізму [9-12].

Мультифрактальний спектр статистичних розмірностей елементів структури чавунних валків розраховувався за допомогою формули Рен'ї [10]:

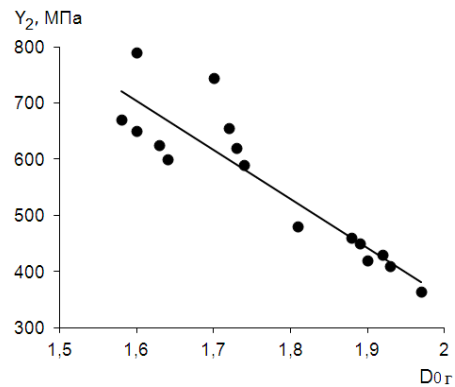
$$D(q) = \frac{1}{q-1} \cdot \lim_{\delta \rightarrow \infty} \frac{\ln \sum_{i=1}^N p_i^q}{\ln \delta},$$

де  $\delta$  – ячітка (одиничний елемент квадратної сітки), якою покривають об'єкт для обчислення розмірності;  $p_i$  – ймовірність попадання точки, що знаходиться на досліджуваному об'єкті, в  $i$ -у ячітку з розміром  $\delta$ ,  $\sum_{i=1}^N p_i^q$  – статистична сума, де  $q$  описує зміни спектра розмірностей об'єкту від  $-\infty$  до  $+\infty$ .

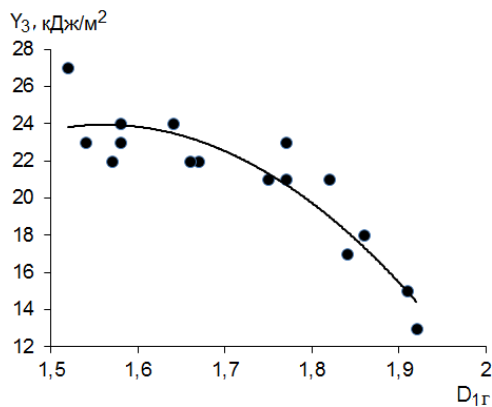
На рисунку наведено графіки та рівняння (1-4) залежності механічних властивостей валків (СПХН-45, СПХН-49) від розмірностей [13].



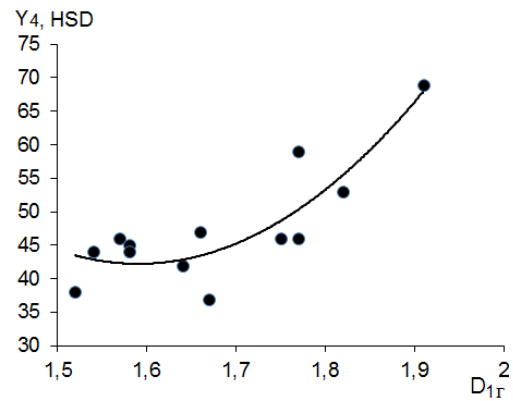
*а*



*б*



а



б

Рисунок. Залежність межі міцності на розрив ( $Y_1$ ), межі міцності на згин ( $Y_2$ ) від фрактальної розмірності пластинчастого графіту  $D_0$  (а, б), ударної в'язкості ( $Y_3$ ), твердості ( $Y_4$ ) від інформаційної розмірності пластинчастого графіту  $D_1$  (в, г)

$$Y_1 = 834,03 \cdot D_{0Г}^2 - 3299,1 \cdot D_{0Г} + 3550, \quad R^2 = 0,70 \quad (1)$$

$$Y_2 = -874,36 \cdot D_{0Г} + 2103,2, \quad R^2 = 0,83 \quad (2)$$

$$Y_3 = -74,075 \cdot D_{1Г}^2 + 231,39 \cdot D_{1Г} - 156,76, \quad R^2 = 0,84 \quad (3)$$

$$Y_4 = 252,22 \cdot D_{1Г}^2 - 802,42 \cdot D_{1Г} + 680,43. \quad R^2 = 0,75 \quad (4)$$

Аналіз спектру статистичних розмірностей валкового чавуну показав, що фрактальна розмірність досліджуваної фази в більшій мірі залежить від форми і геометричних розмірів її елементів, а інформаційна розмірність залежить, в основному, від їх вмісту та розподілу.

Спостерігається тенденція зменшення характеристик міцності сортопрокатних валків при збільшенні фрактальної розмірності пластинчастого графіту (рис. а, б і рівняння (1, 2)). Це певним чином обумовлено збільшенням його вмісту в чавуні від 0,5 до 2,5% і зростанням довжини включень від ПГд45 до ПГд180, а також підвищенням вмісту нікелю з 0,99 до 1,17% по масі. Застосування традиційних методів балової оцінки геометричних характеристик пластинчастого графіту відповідно до ГОСТ 3443 дозволило для досліджуваних марок валків зафіксувати зміну його форми у відносно вузьких межах ПГф1,

ПГФ2; розмірів – ПГд45-ПГд180; розподілу – ПГр1, ПГр2 і займаної площі – ПГ2 та ПГ4, що не дає можливості за цими даними оцінювати з необхідною для практичних цілей точністю характеристики якості. Зафіксовано зменшення показників ударної в'язкості при збільшенні інформаційної розмірності пластинчастого графіту (рис. в) і одночасне підвищення твердості (рис. з), залежності яких описуються поліномом другого ступеня (рівняння 3, 4). Низькі показники твердості HSD 36-46 (рис. з) спостерігаються в діапазоні інформаційної розмірності графіту 1,52-1,68 і, крім того, частково обумовлені нерівномірним розподілом включень графіту, які описуються балом ПГр2, а також низьким вмістом карбідів на рівні 8-14%. Отримані результати свідчать про більший вплив на показники ударної в'язкості і твердості розподілу графітних включень, ніж їх форми.

Результати роботи показують про перспективність застосування теорії мультифракталів для оцінки структури та властивостей прокатних валків.

#### **Список літератури:**

1. Бунин К. П. Основы металлографии чугуна / К. П. Бунин, Я. Н. Малиночка, Ю. Н. Таран. – Москва : Metallurgiya, 1969. – 416 с.
2. Прокатные валки из высокоуглеродистых сталей / Т. С. Скобло, Н. М. Воронцов, С. И. Рудюк [и др.] – Москва : Metallurgiya, 1994. – 336 с.
3. Modified expanded clay lightweight concretes for thin-walled reinforced concrete floating structures / A. Mishutn, S. Kroviakov, O. Pisev, B. Soldo // Tehnicki Glasnik/Technical Journal. - 2017. - Vol. 11. – № 3. – P. 121-124.
4. Большаков В. И. О прогнозировании качества целевого продукта в периодических технологиях / В. И. Большаков, В. Н. Волчук, Ю. И. Дубров // Доповіді НАН України. - 2014. - № 11. -- С. 77-81.
5. Большаков Вад. І. Системний аналіз технології виробництва масивного металевого лиття / Вад. І. Большаков В. І. Большаков, В. М. Волчук, Ю. І. Дубров // Вісник НАН України. – 2015. – № 9. – С. 69–73.

6. Большаков В.И. Этапы ідентифікації багатопараметричних технологій та шляхи їх реалізації / В. І. Большаков, В. М. Волчук, Ю. І. Дубров // Вісник НАН України. – 2013. – № 8. – С. 66–72.

7. Большаков В. И. Идентификация многопараметрических, многокритериальных технологий и пути их практической реализации / В. И. Большаков, В. Н. Волчук, Ю. И. Дубров // Металознавство та термічна обробка металів. – 2013. – №4. – С. 5–11.

8. Большаков В. И. Определение области компромисса критериев качества чугунных валков / В. И. Большаков, В. Н. Волчук, Ю. И. Дубров // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури: зб. наук. пр. – Д.: ПДАБА, 2014. – №11. – С. 4–7.

9. Volchuk V. Method of material quality estimation with usage of multifractal formalism / V. Volchuk, I. Klymenko, S. Kroviakov, M. Orešković // Tehnički glasnik - Technical Journal. – 2018. – Vol. 12. – № 2. – P. 93–97.

10. Журавель І. М. Аналіз текстури фрактографічних зображень на основі спектра фрактальних розмірностей Реньї / І. М. Журавель // Искусственный интеллект. – 2013. – № 1. – С. 204–208.

11. Большаков В. И. Особенности применения мультифрактального формализма в материаловедении / В. И. Большаков, В. Н. Волчук, Ю. И. Дубров // Доповіді НАН України. – 2008. – № 11. – С. 99–107.

12. Большаков Вад. І. Часткова компенсація неповноти формальної аксіоматики при ідентифікації структури металу / Вад. І. Большаков В. І. Большаков, В. М. Волчук, Ю. І. Дубров // Вісник НАН України. – 2014. – № 12. – С. 45–48.

13. Дубров Ю. Пути идентификации периодических многокритериальных технологий: монографія / [Ю. Дубров, В. Большаков, В. Волчук]. – Саарбрюккен: Palmarium Academic Publishing, 2015. – 236 с.