

Фрактальне моделювання показників якості чавунних валків СПХН

2021 р.

Зміст

Вступ.....	3
1. Матеріали та методики дослідження.....	4
2. Визначення фрактальної розмірності.....	6
3. Результати та їх обговорення.....	7
Висновки.....	10
Список використаної літератури.....	11
Анотація.....	13

Вступ.

Одним з найважливіших завдань народного господарства являється випуск металопродукції з високими механічними властивостями, що задовольняють вимогам замовника. Попит на вироби з металу у всьому світі дуже високий, але фахівці з року в рік передрікають його зростання в таких галузях як будівництво, верстатобудування, залізничний транспорт. Випуск цієї продукції залежить, насамперед, від якості металургійного обладнання, на якому воно виробляється. До цього факту слід віднести те, що чавуни на сьогоднішній день являються одним із базових матеріалів металургійного комплексу України. Вони використовуються для виготовлення багатьох деталей та виробів відповідального призначення. Зокрема з них виготовляють прокатні валки для металургійних підприємств [1-4].

Дана робота присвячена пошуку зв'язку між структурою та властивостями валкових чавунів. Це завдання вирішується за допомогою різних методів сучасного матеріалознавства: механічних іспитів, рентгеноструктурного аналізу, оптичної та електронної мікроскопії, спектрального аналізу та ін.

Для економії коштів, які затрачаються на механічні іспити було проведено наступний експеримент. Його суть полягає в тому, що було висунуто припущення щодо взаємної однозначної відповідності між якісними характеристиками досліджуваного металу і фрактальними параметрами його мікроструктури.

Застосування теорії фракталів є перспективним шляхом моделювання структури та властивостей матеріалів [5-10].

Такий підхід дозволить на основі отриманих залежностей між параметрами мікроструктури та механічних властивостей визначати та прогнозувати данні властивості, що і визначає актуальність даної роботи.

1. Матеріали та методики дослідження.

В якості об'єкту дослідження обрано вплив фрактальної розмірності чавунних валків виконання СПХН-43 на їх критерії якості, зокрема, механічні властивості.

Матеріалами дослідження обирались зразки валкового чавуну марки СПХН-43.

Валковий чавун мав наступний хімічний склад (Таблиця 1.1).

Таблиця 1.1

Хімічний склад чавуну СПХН-43 в % від маси

Марка чавуну	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
СПХН-43	3,50	0,95	0,54	0,070	0,012	0,63	1,22

Розмір чавунних валків марки СПХН-43 становить: діаметр бочки 520 довжиною 1000 мм (520×1000 мм); валків марки СПХНФ-47 наступний: діаметр бочки 680 довжиною 1000 мм (680×1000 мм).

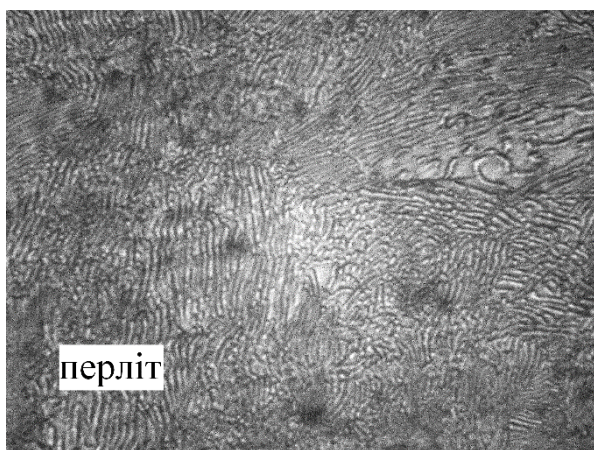
На рис. 1.1 наведено вигляд продукції (чавунних валків), що випускається на «Дніпровському заводі прокатних валків», м. Дніпро.



Рис. 1.1 Чавунні валки виконання СПХН

Дослідження мікроструктури зразків здійснювалося за допомогою оптичного мікроскопу Неофот 2 (Німеччина) з наступним фотографуванням за допомогою цифрової камери “Olympus C-50” розміром 2288×1712 пікселів та представлені в 256- колірному форматі BMP з відтінками сірого кольору.

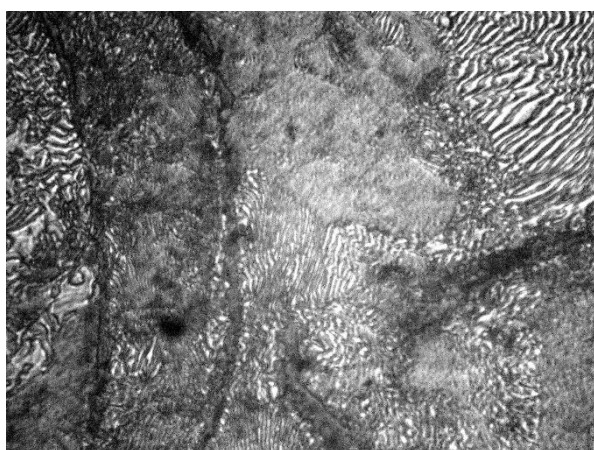
Чавун СПХН-43. На рис. 1.2 представлена мікроструктура чавуну СПХН-43 при збільшенні $\times 500$ та $\times 1000$. Аналіз мікроструктури показав, що ми маємо перлітний чавун (рис. 2.2 *а, б, в*), мікролегований хромом та нікелем, з пластинчастим графітом та середнім вмістом карбідів (Fe_3C) (рис. 1.2 *б*).



а). $\times 1000$



б). $\times 500$



в). $\times 1000$



г). $\times 500$

Рис. 2.2 Мікроструктура чавуну СПХН-43

Відбіленого шару на поверхні валкового чавуну СПХН-43 не було виявлено (рис. 2.2 *г*).

2. Визначення фрактальної розмірності.

Фрактальна розмірність елементів мікроструктури валкового чавуну СПХН-43 розраховувалась програмно за допомогою запатентованої методики [11].

В основі цієї методики лежить пошук значень збіжності фрактальних розмірностей, обчислених за допомогою формули Хаусдорфа [12] та клітинної розмірності [13].

Фрактальна розмірність D неметалевих включень розраховувалася за запатентованою методикою, що базується на збіжності розмірностей, обчислених за клітинним та крапковим методами. Клітинний метод базується на формулі Хаусдорфа (2.1). В цій формулі об'єкт дослідження покривають клітинками N з лінійним розміром l :

$$D = -\lim_{\delta \rightarrow 0} \frac{\ln N(l)}{\ln l} \quad (2.1)$$

В крапковому методі (2.2), обчислюється ймовірносний показник $P(m, L)$ вмісту крапок m об'єкту в клітинці з лінійним розміром L , а показник $\bar{N}(L)$ описує середнє значення клітин об'єкту.

$$\tilde{N}(L) = \sum_{m=1}^K (1/m) P(m, L) \quad (2.2)$$

В роботі розраховувалась фрактальна розмірність карбідів, оскільки вони значною мірою впливають на досліджувані показники міцності валків: твердість за методикою Шора (визначається по величині відскоку бойка) HSD, міцності на розрив σ_B й міцності на згин $\sigma_{згин}$.

3. Результати та їх обговорення.

Механічні властивості валкового чавуну визначалися за традиційними методиками (дані по властивостям наведені в табл. 3.1). В таблиці $Y_{\text{екс}}$ – експериментальні значення механічних властивостей (натурні іспити); $Y_{\text{роз}}$ – розрахункові значення механічних властивостей за отриманими фрактальними моделями (3.1 - 3.3).

Таблиця 3.1

Результати механічних іспитів валкового чавуну СПХН

№ п/п	Твердість		σ_B		$\sigma_{\text{згин}}$	
	HSD		МПа		МПа	
	$Y1_{\text{екс}}$	$Y1_{\text{роз}}$	$Y2_{\text{екс}}$	$Y2_{\text{роз}}$	$Y3_{\text{екс}}$	$Y3_{\text{роз}}$
1	248	242	405	392	713	673
2	250	251	448	479	773	790
3	252	254	460	517	790	840
4	254	252	520	492	873	807
5	255	255	520	529	873	857
6	269	265	624	629	1017	990
7	263	267	565	654	935	1023
8	262	258	560	554	928	890

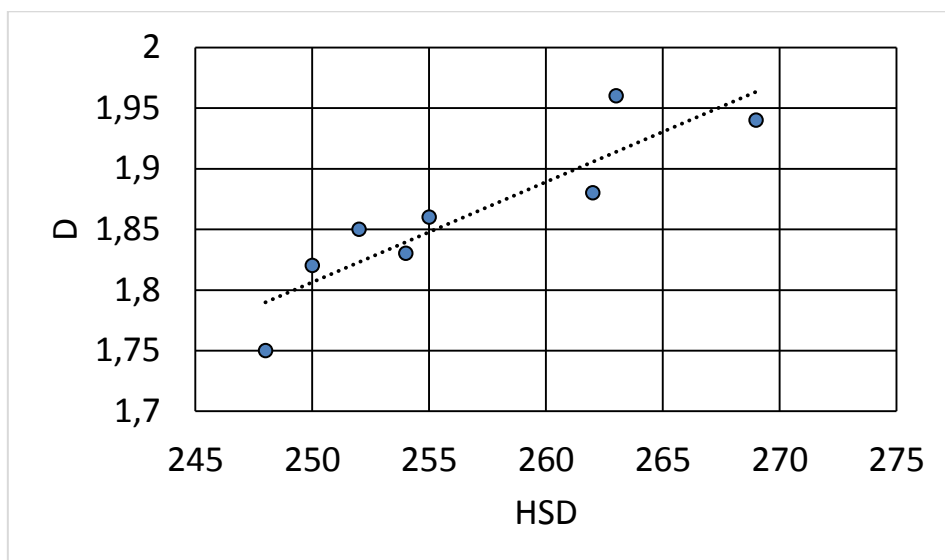
Фрактальні моделі прогнозу мають наступний вигляд:

$$HSD = 0,0083D - 0,2599, \quad R^2 = 0,80 \quad (3.1)$$

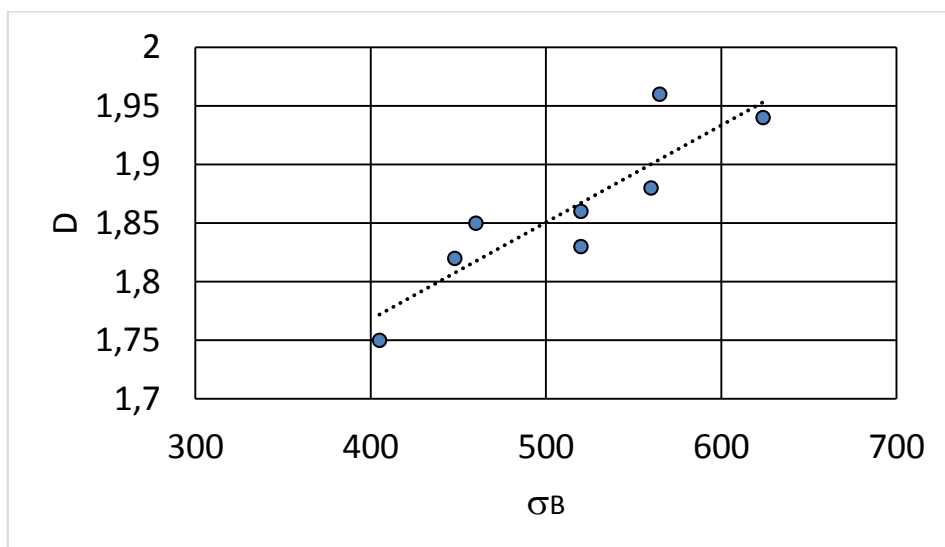
$$\sigma_B = 0,0008D + 1,4368, \quad R^2 = 0,78 \quad (3.2)$$

$$\sigma_{\text{згин}} = 0,0006D + 1,3461 \quad R^2 = 0,78 \quad (3.3)$$

Моделі (3.1 - 3.3) побудовані на основі аналізу отриманих графіків залежності механічних властивостей від фрактальної розмірності карбідів (рис. 3.1).



a



б

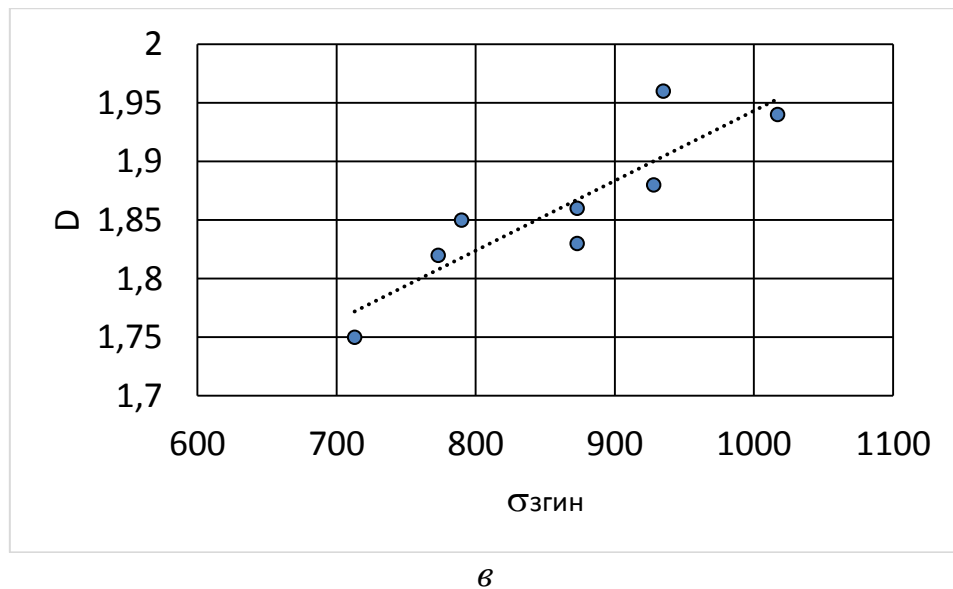


Рис. 3.1. Залежність твердості (a), межі міцності на розрив (b) та на згин (c) від фрактальної розмірності карбідів D

Отримані моделі (3.1 – 3.3) дають можливість прогнозувати механічні властивості валкового чавуну марки СПХН без проведення натурних іспитів.

Експериментально встановлено, що показники міцності валків зростають в залежності від зростання показників фрактальної розмірності карбідів. Цей факт свідчить про вплив метрики досліджень при ідентифікації параметрів структури та надає можливість застосовувати апарат фрактальної геометрії як інструментарій кількісної оцінки реальних структур металів.

Практичні рекомендації по застосуванню запропонованої методики наступні:

1. Виготовити шліфи для мікроструктурного аналізу валкового чавуну.
2. Визначити фрактальну розмірність елементів мікроструктури.
3. Підставити отримані значення фрактальних розмірностей в отримані моделі прогнозу.
4. Провести аналіз отриманих результатів.

Висновки.

1. Проведено фрактальний аналіз структури робочого шару бочок валкового чавуну марки СПХН-43.
2. Встановлена залежність між механічними властивостями валкового чавуну (σ_B , $\sigma_{згин}$, HSD) та фрактальною розмірністю структурних складових (перліту, цементиту, графіту).
3. Отримані моделі прогнозу механічних властивостей валкового чавуну.
4. Надано практичні рекомендації застосування представленої методики в заводських умовах.

Отримані результати дозволяють заощаджувати кошти на проведення натурних іспитів за рахунок розроблених математичних моделей прогнозу механічних властивостей бочок валків марки СПХН-43.

Список використаної літератури

1. Большаков В. І., Волчук В. М., Дубров Ю. І. Етапи ідентифікації багатопараметричних технологій та шляхи їх реалізації // Вісник НАН України. – 2013. – № 8. – С. 66–72.
2. 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. – Режим доступа : <https://doi.org/10.15407/dopovidi2014.11.0771>
3. Большаков В. И., Волчук В. Н., Дубров Ю. И. Идентификация многопараметрических, многокритериальных технологий и пути их практической реализации // Металознавство та термічна обробка металів. – 2013. – №4. – С. 5–11.
4. 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. – Режим доступу: <http://dx.doi.org/10.15407/vsn2015.09.069>
5. Большаков В. И., Волчук В. Н. Материаловедческие аспекты применения вейвлетно-мультифрактального подхода для оценки структуры и свойств малоуглеродистой стали // Металлофизика и новейшие технологии. – 2011. – Т. 33. – № 3. – С. 347-360.
6. Большаков В. И., Волчук В. Н., Дубров Ю. И. Топологические и фрактальные инварианты структуры для оценки качества металла // Доповіді НАН України. – 2017. – № 4. – С. 42-48.
7. Волчук В. Н. К вопросу о применении теории мультифракталов для оценки механических свойств металла // Металознавство та термічна обробка металів. – 2014. - № 3. – С. 12–19.
8. Волчук В. Н. Определение чувствительности мультифрактальных характеристик металла // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – 2015. – № 12. – С. 10–14.

9. Волчук В. Н. К определению области компромисса характеристик качества материалов / В.Н. Волчук. // Металознавство та термічна обробка металів. – 2015. – №3. – С. 5–11.

10. Волчук В. Н. К применению фрактального формализма при ранжировании критериев качества многопараметрических технологий // Металлофизика и новейшие технологии. – 2017. – Т. 39. – № 7. – С. 949-957.

11. Большаков В. И., Волчук В. Н., Дубров Ю. И. Основы организации фрактального моделирования. – Киев: Академперіодика, 2017. – 170 с.

12. Большаков В. И., Волчук В. Н., Дубров Ю. И. Организация фрактального моделирования // Доповіді НАН України. – 2018. – № 6. – С. 67-72.

13. Bol'shakov V., Volchuk V. and Dubrov Yu. Fractals and properties of materials. – Saarbrücken : Lambert Academic Publishing, 2016. – 140 p.

Анотація на наукову роботу під шифром «Фрактальне моделювання»

Актуальність роботи. Оцінка якості масивних металевих відливок з використанням математичних методів, до яких відносяться прокатні чавунні валки, є перспективним напрямком дослідження сучасного матеріалознавства. Головною перевагою фрактальної геометрії над евклідовою є те, що вона дозволяє більш точно описувати складні фігури, що є в наявності у реальних структур.

В роботі досліджувався вплив фрактальної (дробної) розмірності структури валкового чавуну виконання СПХН-43 на його механічні властивості - σ_B , $\sigma_{згин}$, HSD. Отримані результати можна використовувати в якості оперативної оцінки механічних властивостей чавунних валків на основі аналізу їх структури.

Мета роботи. Встановити зв'язок між показниками міцності валкового чавуну марки СПХН-43 та фрактальною розмірністю його мікроструктури.

Завдання наукової роботи. В роботі вирішувалися наступні завдання:

1. Відзначити важливість застосування прокатних валків для народного господарства України та оцінку їх властивостей на основі аналізу структури, зокрема, фрактального аналізу.
2. Визначити фрактальну розмірність карбідів валкового чавуну робочої зони бочок.
3. Отримати фрактальні моделі прогнозу показників міцності валкового чавуну марки СПХН-43.
4. Дати практичні рекомендації по застосуванню отриманої фрактальної моделі.

Загальна характеристика наукової роботи. Загальний обсяг роботи складає 14 сторінок. Наукова робота містить в собі: вступ; три розділи; висновки; список використаних джерел, що включає 13 найменувань. У вступі розглядається актуальність оцінки механічних властивостей чавунних валків з використанням теорії фракталів до моделювання структури та властивостей металів. У першому розділі роботи наведені матеріали та методики

дослідження. У другому розділі описано спосіб оцінки фрактальної розмірності мікроструктури валкового чавуну. У третьому розділі наводяться результати експерименту та отримані моделі прогнозу механічних властивостей чавуну в залежності від фрактальної розмірності карбідів. Відмічається, що отримані результати свідчать про широкі можливості застосування теорії фракталів до оцінки структури та властивостей чавунних валків виконання СПХН.

Методика дослідження: оптичної мікроскопії, механічних іспитів, методика визначення фрактальної розмірності металу, фрактальна модель.

Ключові слова: валковий чавун, структура, фрактальна розмірність, механічні властивості, прогноз.