

ПОПЕРЕДНЯ ОБРОБКА ТА ФРАКТАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЗОБРАЖЕНЬ ПОРИСТИХ МАТЕРІАЛІВ

У статті розглянуті методи попередньої обробки зображень для проведення фрактального аналізу та вплив на фрактальну розмірність зображень поверхонь пористих матеріалів (газарів). Програмно реалізовані методи бінарizaції та алгоритми визначення порогу бінарizaції, обчислена фрактальна розмірність бінарних зображень та проведений аналіз значень фрактальної розмірності природних покриттів при використанні різних методів бінарizaції з метою отримання алгоритма адаптації порогу бінарizaції для управління властивостями пористих матеріалів. Побудовані фрактальні розподілення зображень поверхонь газарів.

Ключові слова: фрактальна розмірність, поріг бінарizaції, методи бінарizaції, пористі матеріали (газари), фрактальні розподілення.

А.А. ЖУРБА, А.И. МИХАЛЁВ, В.Ю. КАРПОВ
Национальная металлургическая академия Украины

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА И ФРАКТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

В статье рассмотрены методы предварительной обработки изображений для проведения фрактального анализа и влияние на фрактальную размерность изображений поверхностей пористых материалов (газаров). Программно реализованы методы бинаризации и алгоритмы определения порога бинаризации, вычислена фрактальная размерность бинарных изображений и проведен анализ значений фрактальной размерности природных покрытий с использованием разных методов бинаризации с целью получения алгоритма адаптации порога бинаризации для управления свойствами пористых материалов. Построены фрактальные распределения изображений поверхностей газаров.

Ключевые слова: фрактальная размерность, порог бинаризации, методы бинаризации, пористые материалы (газары), фрактальные распределения.

А.А. ZHURBA, А.И. MIKHALYOV, V.U. KARPOV
National metallurgical academy of Ukraine

PRELIMINARY PROCESSING AND FRACTAL ANALYSIS OF IMAGES PORIFEROUS MATERIALS

This article covered the methods of preliminary processing of the images for carrying out of the fractal analysis and their effect at fractal dimension images of the surfaces poriferous materials (gazeras). Programmatically realized methods of binarization and algorithms definition of binarization threshold, fractal dimension of binary images was calculated and analysis was carried out meanings of fractal dimension natural coverings at the using of different binarization methods with purpose of receiving algorithm adaptation of binarization threshold for management of properties poriferous materials. The fractal distributions of surfaces gazeras were built.

Key words: fractal dimension, binarization threshold, methods of binarization, poriferous materials (gazeras), fractal distributions.

Постановка проблеми

Побудова моделей та використання обчислювальних методів фрактального аналізу знаходять все більше практичне застосування у сучасному матеріалознавстві. Це обумовлено необхідністю підвищення точності кількісного аналізу структур матеріалів та прогнозування їх властивостей. Тому актуальною задачею є дослідження фрактальних характеристик нового виду пористих матеріалів – газарів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Фрактальний аналіз використовується для моделювання, аналізу і контролю складних поверхонь і структур у різних областях науки і техніки. Питаннями, що пов'язані з фракталами та фрактальним аналізом, займається ряд вітчизняних та іноземних вчених, таких як Е. Федер, О.О. Потапов, Р.Е Пашенко та ін.

Фрактальна геометрія широко відома як математична дисципліна, але стосовно застосування фракталів у металознавстві – існує велика кількість завдань, які або взагалі не розглядалися з точки зору фрактальної геометрії, або розглядалися лише їх обмежені і вузькі аспекти. Також слід зазначити, що у більшості робіт розглядається лише одна фрактальна характеристика - фрактальна розмірність, яка приймається або як відома величина (немає відомостей про її отримання). При цьому такі поняття як фрактальний розподіл та фрактальна сигнатура майже відсутні.

Тому **метою даного дослідження** є попередня обробка зображень газарів та проведення їх фрактального аналізу. При цьому під попередньою обробкою зображень мається на увазі визначення такого методу бінаризації за рахунок адаптації порогу бінаризації, який буде найкраще підходити для вирішення задачі обчислення значення фрактальної розмірності і подальшого управління властивостями таких природних покриттів як газари.

Викладення основного матеріалу дослідження

Пори, залежно від металу, мають різну протяжність, яка становить 10-400 діаметрів пори. Сумарна пористість литого металу може досягати 45-60%. В даний час розроблені технології отримання газарів на базі таких металів як залізо, нікель, мідь, магній, алюміній, кобальт, молібден, вольфрам і інших металів, цілого ряду сплавів, кераміки. Отримані заготовки та вироби з газарів мають вигляд циліндрів, труб, пластин різної маси і розмірів, з різною орієнтацією і видом пір в них (рис. 1). Принцип отримання газарів заснований на газоевтектической реакції в системі газ - метал. За рахунок різниці в розчинності газу в рідкому і твердому металі відбувається виділення надлишку газу на фронті кристалізації. Це призводить до формування пір. Одержувані в результаті кристалізації з розплаву пори мають дзеркальну поверхню. Параметри процесу кристалізації дозволяють регулювати розмір, форму, кількість пір.

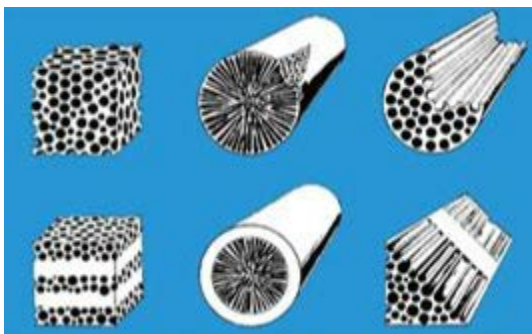


Рис. 1. Заготовки та вироби з газарів

Для дослідження газарів отримані фотографії мікроструктури поверхневого шару зразків (рис.2).

В ході дослідження проаналізовано ряд зображень поверхневого шару газарів, визначалася фрактальна розмірність зображення методом Box Counting при різних порогах бінаризації, побудовані фрактальні розподіли та фрактальні кепстри.

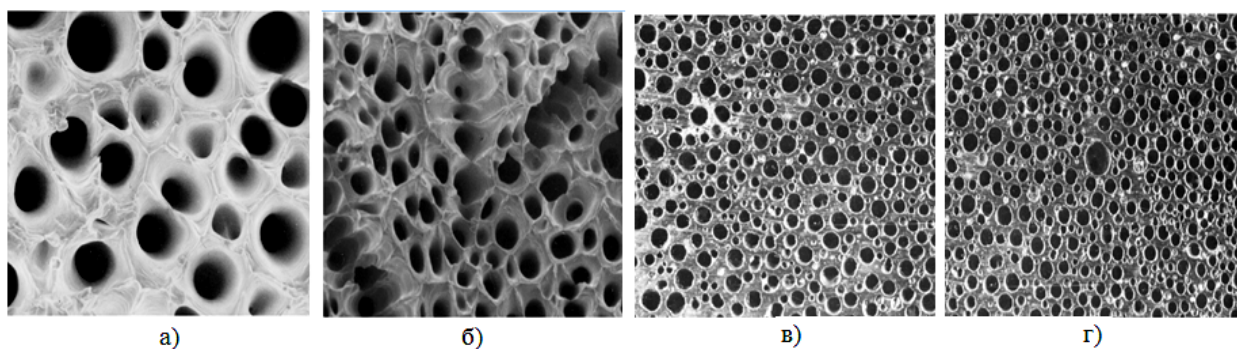


Рис. 2. Зображення мікроструктури поверхневого шару зразків газарів з різними розмірами пор

Фрактальна розмірність являє собою важливу кількісну характеристику фрактальних об'єктів та покриттів. Але, як правило, зображення мікроструктур представлені як кольорові або півтонові, а більшість алгоритмів визначення фрактальної розмірності призначені для бінарних зображень. Тому важливим етапом при оцінці фрактальної розмірності є бінаризація, яка являє собою операцію порогового розділення і результатом якої є бінарне зображення [1]. Метою операції бінаризації є радикальне зменшення кількості інформації, що міститься у зображенні. У процесі бінаризації початкове півтонове зображення, що має кілька рівнів яскравості, перетворюється у чорно-біле зображення, піксели якого мають лише два значення – “0” і “1”.

При бінаризації зображення потрібно визначити, чи спостерігається в пікселі зображення корисний сигнал або фон за допомогою операції порогового розділення, яка полягає в зіставленні значення яскравості кожного пікселя зображення із заданим значенням порогу. Далі пікселю привласнюється значення “0” або “1”.

У результаті порогової бінаризації зображення розбивається на дві області, одна з яких містить всі піксели зі значеннями нижче деякого порогу, а інша містить всі піксели зі значеннями вище цього порогу.

При цьому велике значення має визначення значення порогу бінаризації. Поріг бінаризації найчастіше визначається на базі аналізу гистограми інтенсивностей зображення, яка, як правило, бімодальна. Декілька послідовних значень яскравості групуються в одну кишеню гистограми. Значення кожної кишені гистограми – кількість пікселів початкового зображення відповідної яскравості. При бімодальній гистограмі, коли розподіли світлих і темних пікселів відокремлені один від одного значним проміжком або присутні яскраво виражені пікселі, за поріг бінаризації можна взяти будь-яке значення з цього проміжку.

Існує велика кількість методів бінаризації, але кожен метод бінаризації зображення використовується для різних типів зображення та для вирішення різних завдань. При переведенні зображення у монохромні використовуються наступні методи бінаризації: бінаризація з нижнім та верхнім порогом, з подвійним обмеженням, та метод середнього для визначення оптимального порогу бінаризації [3].

Приклади газарів та значення фрактальної розмірності зображень при різних методах і порогах бінаризації представлені у табл. 1.

Таблиця 1.

Значення фрактальної розмірності зображення при різних методах і порогах бінаризації

Зображення на рис. 2	Поріг бінаризації	Фрактальна розмірність			Метод середнього
		Бінаризація з нижнім порогом	Бінаризація з верхнім порогом	Бінаризація з подвійним обмеженням	
а	0.1	1.8889	1.7154	1.8633	1.7513
	0.3	1.8633	1.7239		
	0.5	1.8464	1.7534	1.8653	
	0.7	1.8084	1.8242		
	0.9	1.7743	1.8889	1.8889	
	1	1.7958	1.9654		
б	0.1	1.9413	1.755	1.9346	1.7916
	0.3	1.9346	1.6649		
	0.5	1.8602	1.871	1.8587	
	0.7	1.642	1.9378		
	0.9	1.7542	1.9413	1.9413	
	1	1.9651	1.9542		
в	0.1	1.9387	1.6204	1.9387	1.7769
	0.3	1.9387	1.5168		
	0.5	1.8715	1.8217	1.9062	
	0.7	1.7642	1.9166		
	0.9	1.4027	1.9387	1.9387	
	1	1.5425	1.9542		
г	0.1	1.9101	1.7423	1.9100	1.8280
	0.3	1.9100	1.6373		
	0.5	1.8360	1.8568	1.8928	
	0.7	1.7448	1.9005		
	0.9	1.6332	1.9101	1.9101	
	1	1.7854	1.9425		

Для оцінки box-розмірності, евклідовий простір, що містить зображення об’єкта, розділяють сіткою з осередком розміром r та підраховуються непусти, зайняті об’єктом, що досліджується, квадрати $N(r)$. Далі розмір r зменшують і знову підраховують кількість непустих полів $N(r)$. Нахил графіку в логарифмічному масштабі $N(r)$ від $1/r$ відповідає величині розмірності [2, 4, 5].

З табл. 1 видно, що на значення фрактальної розмірності впливає метод та поріг бінаризації.

На рис. 3 представлений графік залежності фрактальної розмірності поверхонь газарів від розміру пор. За значення фрактальної розмірності прийнято величину, що обчислювалася з використанням методу середнього при бінаризації. З рис. 3 видно, що при зміні розмірів пор, змінюється значення фрактальної

розмірності. При чому чим менший розмір пор, тим більша фрактальна розмірність. На графіку, що зображений на рис. 3, спостерігається відхилення від даної залежності для газару, представленого на рис. 2б. Це зумовлено тим, що даний газар має розміри пор змішаного типу. У зв'язку з цим, розмір фрактальної розмірності дорівнює у даному випадку 1.7916, що є більшим ніж для газарів з меншим розміром пор.

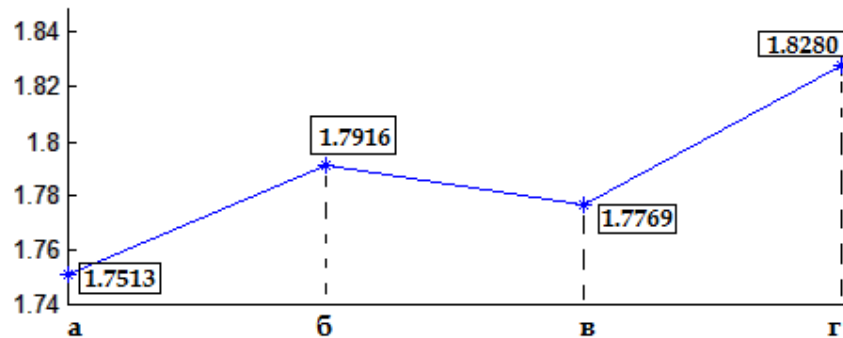


Рис. 3. Графік залежності фрактальної розмірності поверхонь газарів від розміру пор

Для побудови фрактальних розподілів використовувався метод ковзаючого вікна. Даний метод полягає у визначенні фрактальної розмірності в межах вікна, розмір якого можна задавати довільно. Вікно по піксельно переміщується по зображенню. При цьому на кожному кроці обчислюється фрактальна розмірність. Розмір вікна залежить від масштабу і розраховується зі співвідношення $2\delta + 1$.

На рис. 4 представлені емпіричні розподіли локальних фрактальних розподілів при масштабі $\delta = 7$ (розмір ковзаючого вікна 15×15 пікселів) [2], які відповідають зображенням поверхонь газарів, що представлені на рис. 2.

Фрактальні розподіли на рис. 4а та 4б мають однорідний характер, що говорить про близькі значення локальних фрактальних розмірностей поверхонь газарів, зображених на рис. 2а та 2б.

Фрактальні розподілення на рис. 4в та 4г мають мультимодальний характер. Кожна мода такого розподілу відповідає кластеру зображення, що має близькі значення локальних розмірностей.

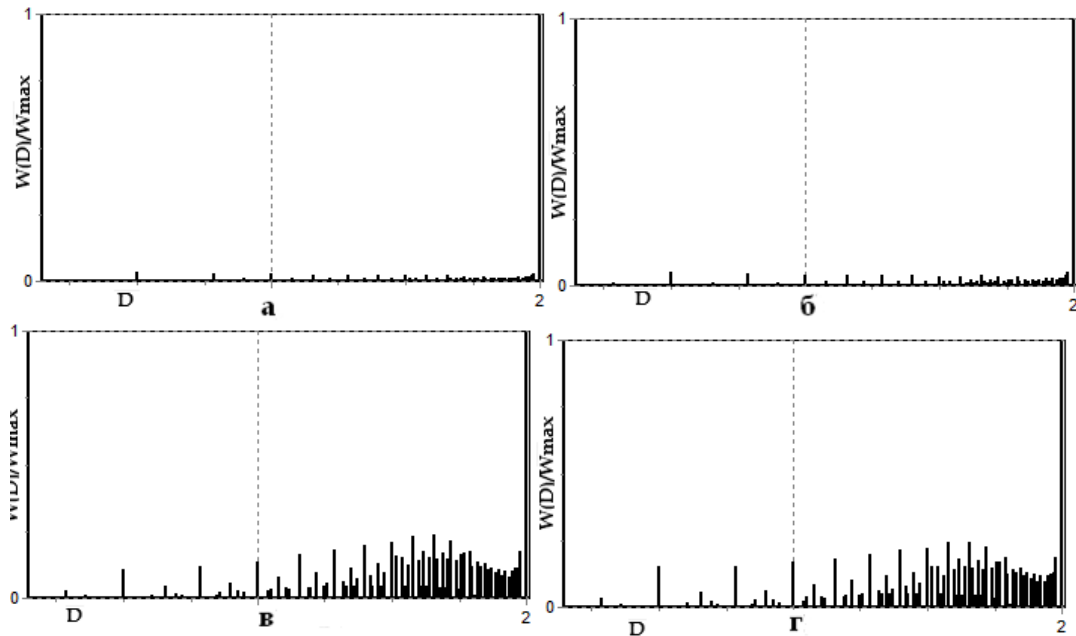


Рис. 4. Фрактальні розподіли, що відповідають газарам, зображеним на рис. 2

Висновки

На підставі фрактальних методів обробки зображень проаналізовані поверхні нового виду пористих металевих матеріалів – газарів. Обчислені фрактальні розмірності зображень газарів з різними розмірами пор методом Box Counting, проведено порівняльний аналіз результатів з використанням різних методів та порогів бінаризації. Побудовано емпіричні розподіли локальних фрактальних розмірностей. Розроблено

програмний продукт, що дозволяє оцінювати фрактальну розмірність і будувати розподіл локальних фрактальних розмірностей.

Зображення, що складаються з безлічі фрагментів різної природи, після обчислення локальних розмірностей дають мультимодальні розподіли, що говорить про різні розміри кластерів, що містяться в структурі. Мультимодальні розподіли дали зображення поверхонь газарів, що представлені на рис. 2в та 2г. Вони мають 4 моди.

При цьому слід відзначити, що емпіричний розподіл фрактальних розмірностей більш точно відображає результати, ніж точкове обчислення фрактальної розмірності. При побудові фрактальних розподілень поверхня газарів зі змішаними розмірами пор (рис. 2б) не дає випадіння, на відміну від обчислень розмірності.

В роботі оцінювалася фрактальна розмірність бінарних зображень покриттів газарів методом Box Counting з метою управління властивостями газарів у подальшому. Встановлено, що при застосуванні різних методів бінаризації до вихідних зображень, змінюється значення фрактальної розмірності. Окрім метода бінаризації на фрактальну розмірність впливає і поріг бінаризації. Для серії зображень газарів можна побачити, що найбільш ближчі значення фрактальної розмірності у всіх методів бінаризації при порозі бінаризації від 0.5 до 0.7.

Список використаної літератури

1. Журба А.А. Определение зависимости фрактальной размерности цветных изображений микроструктуры от порога бинаризации / А.А. Журба, А.И. Михалёв // Интеллектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту: Матеріали міжнародної наукової конференції. – (Євпаторія, 2012.) – С.362-364.
2. Журба А.О. Особливості визначення фрактальної розмірності методом BOX COUNTING у задачах металознавства / А.О. Журба, О.І. Михальов // Інформатика та системні науки (ІСН-2012): матеріали III Всеукраїнської науково-практичної конференції – (Полтава, 2012) – С.109-111.
3. Журба А.О. Вплив порогу та методів бінаризації на фрактальну розмірність зображень поверхонь пористих матеріалів / А.О. Журба // Адаптивні системи автоматичного управління. – 2015. – Вип. 1(26). – С. 198-201.
4. Потапов А.А. Фракталы в радиофизике и радиолокации. / А.А. Потапов. – М.: Логос, 2002. – 664 с.
5. Потапов А.А. Исследование микрорельефа обработанных поверхностей с помощью методов фрактальных сигнатур / А.А. Потапов, В.В. Булавкин, В.А. Герман, О.Ф. Вячеславова // ЖТФ. - 2005. – Т. 75, № 5. –С. 28-45.