

А.И. Деревянко, Сяо Цзефан

ФРАКТАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ КОРРОЗИИ ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛОВ

Аннотация. Предложена фрактальная модель процесса коррозии металлов. На основе сравнения результатов численного и физического экспериментов показано, что возникновение кроссовера оценки фрактальной размерности связано с началом формирования рыхлой границы очагов коррозии.

Ключевые слова. Фрактальная модель, коррозия металлов, фрактальная размерность, кроссовер

Из всех известных методов измерения коррозии, только некоторые могут различать типы коррозии [1]. Однако, большинство из них используют внешние источники напряжения или тока, по этой причине результаты измерения процесса коррозии могут быть неконтролируемо искажены. Поэтому для построения модели процесса коррозии необходимо разработать пассивные методы мониторинга процесса коррозии.

К таким методам измерения показателей коррозии металлов относятся методы, основанные на цифровой обработке растровых изображений поверхностей, подвергнутых коррозии. Следует отметить, что эти методы не оказывая влияния на процесс коррозии, допускают возможность измерений только в дискретные моменты времени.

Постановка задачи исследования

Детерминированные физико-химические процессы, формирующие явление коррозии металлов, являются нелинейными и имеют области хаотического поведения. Так, в работе [2] представлен обзор применения теории детерминированного хаоса для анализа процессов коррозии. Следствием этого является формирование на поверхности металла микроструктур коррозии, обладающих свойствами фракталов [3].

Целью работы является разработка фрактальной модели коррозии и алгоритмов анализа поверхности металлов, на основе этой модели, для оценки их состояния.

Основная часть

Экспериментальные исследования коррозии металлов, не имеющей антикоррозийной защиты, показали, что рост площади пятен коррозии происходит одновременно с изменением характера их границы (рис. 1). Таким образом, можно выделить два процесса формирования пятен коррозии:

- увеличение площади пятен коррозии (увеличения диаметра минимальной окружности, охватывающей пятно коррозии);
- изменение свойств геометрии границы пятен коррозии, т.е. формирование изрезанной (рыхлой) границы.

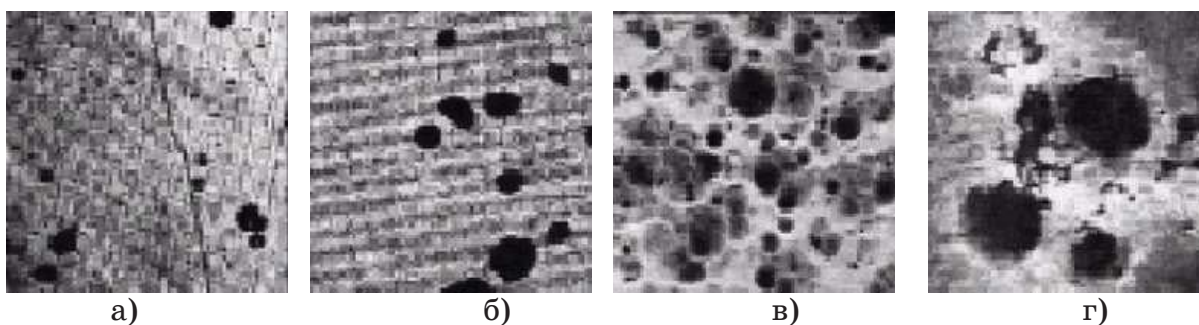


Рисунок 1 - Изображения изменений коррозии поверхности

Интересно отметить, что для нержавеющей стали проявление второго процесса формирования коррозии существенно запаздывает во времени (рис. 2). Этот этап (рис.1, в) и г)) имеет лавинообразный характер, что вызвано спецификой хаотических режимов физико-химических процессов коррозии.

Таким образом, перспективной характеристикой для оценки состояния поверхности металла, подвергнутого коррозии, может служить фрактальная размерность, которая является интегральной характеристикой поверхности металлов



Рисунок 2 - Изображение коррозии поверхности нержавеющей стали AISI 304

Для геометрических объектов, границами которых служат замкнутые кривые, отношение периметра к квадратному корню площади не зависит от их размера и определяется выражением [4].

$$\rho_D(\delta) = \frac{[L_i(\delta)]^{1/D}}{[A_i(\delta)]^{1/2}}, \quad (1)$$

где D фрактальная размерность границы, для которой размерность пространства равна 2, время наблюдения процесса коррозии.

Для 3d фрактальных геометрических объектов на растровом изображении (рис.1), образованных очагами коррозии, выполняется условие [5].

$$D=3-H, \quad (2)$$

где H – показатель Херста. Значения показателя Херста $H=0.5$ для изображения коррозии поверхности металла характерны для независимых значений ρ (выражение 1). Значения показателя Херста $H>0.5$ характерны для персистентной системы, т.е. поддерживающей зависимость роста значений ρ во времени. Значения показателя Херста $H<0.5$ характерны для антиперсистентной системы. Таким образом, значение показателя Херста $H=0.5$, при известном значении D , дает возможность оценить момент возникновения лавинообразного характера коррозии.

Растровое изображение поверхности металла с геометрической точки зрения является проекцией этой поверхности на плоскость экрана компьютера. Составляющая «яркость» такого изображения пропорциональна профилю поверхности металла, если изображение представлено растровой цветовой моделью в градациях серого. Стандартный диапазон значений яркости для представления растрового изображения на экране компьютера 0-155 уровней, что соответствует 8-битному представлению диапазона для значений профиля шероховатости, образовавшегося в результате коррозии.

В основе алгоритма оценивания фрактальной размерности изображений в градациях серого лежит факт, что такое изображение можно представить как поверхность, где низинам соответствуют "темные" пикселы, а пикам - возвышенностям - "светлые" пикселы. На рис. 3 приведено изображение в градациях серого микрошлифа металла и его рельеф яркости. Для оценки фрактальной размерности

очагов коррозии был использован алгоритм TPSA [6], предназначен для обработки изображений в градациях серого.

Для определения влияния статистических характеристик изображения на оценку фрактальной размерности были сгенерированы тестовые изображения со значением показателя Херста $H=0.5$ и различными значениями среднеквадратичного отклонения (рис.4).

Значения яркости растрового изображения исходно, представленные на диапазоне 0-255, были центрированы относительно значения 128.

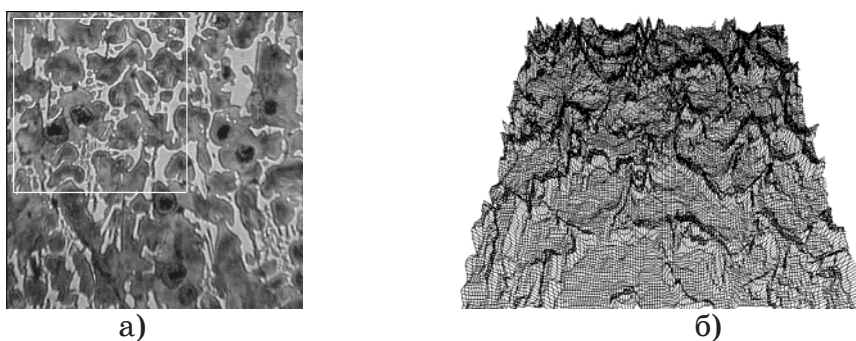


Рисунок 3 - а) микрошлиф; б) рельеф выделенного участка

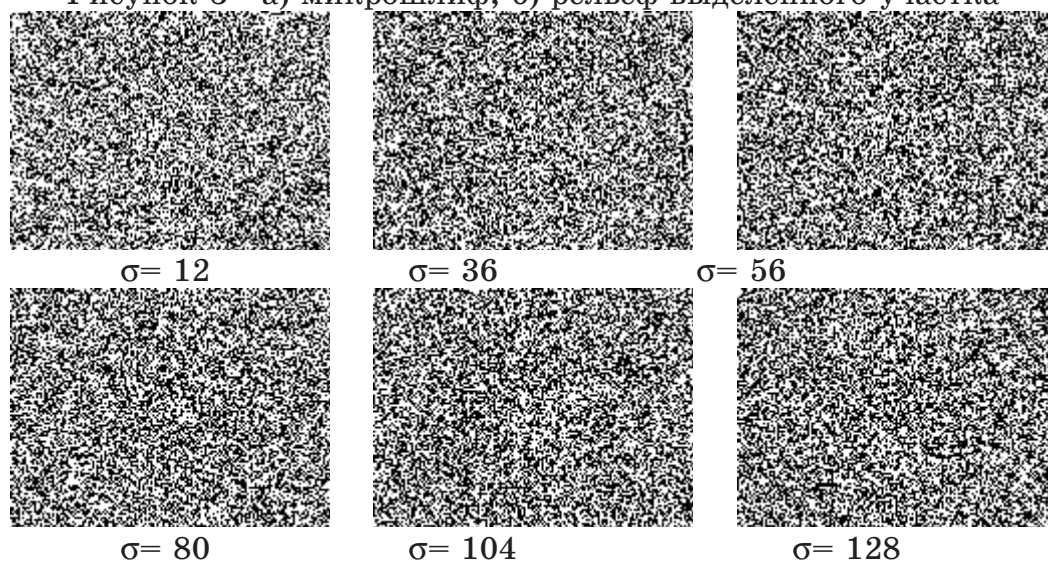


Рисунок 4 - а) микрошлиф; б) рельеф выделенного участка

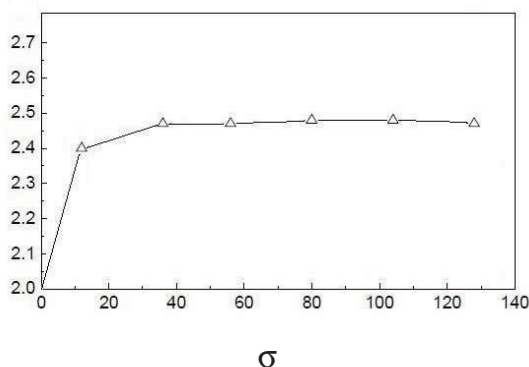


Рисунок 5 - зависимость значения оценки фрактальной размерности от среднеквадратичного отклонения

В таблице 1 представлены результаты оценки фрактальной размерности D1- D4 в последовательные моменты времени для эксперимента с различными сортами сталей Materials.

Таблица 1

No.	Materials	D1	D2	D3	D4
2-a	08Al	2.41798	2.46779	2.63168	2.90512
2-b	08Al	2.43947	2.46837	2.61874	2.92337
3-a	16Mn	2.44378	2.47194	2.56811	2.92709
3-b	16Mn	2.50469	2.47365	2.62961	2.93238
4-a	10CrMoAl	2.48528	2.47306	2.58872	2.94074
4-b	10CrMoAl	2.47630	2.46996	2.67788	2.92447
5-a	10CrMoAl	2.43954	2.47743	2.63627	2.94194
5-b	10CrMoAl	2.46265	2.47487	2.64363	2.94095
7-a	09CuPTiRe	2.43092	2.46862	2.67132	2.92582
7-b	09CuPTiRe	2.43770	2.46825	2.66995	2.93030
10-a	10CrCuSiV	2.45688	2.47249	2.50333	2.92194
10-b	10CrCuSiV	2.49265	2.47467	2.66359	2.93842

Выводы

В результате проведенных исследований показано, что процесс коррозии металлов имеет выраженный кроссовер для значений оценки фрактальной размерности. Возникновение кроссовера связано с началом формирования рыхлой границы очагов коррозии. Этот эффект вызывает лавинообразный процесс коррозии металлов. Предложенный метод определения появления кроссовера позволит зафиксировать момент изменения типа коррозии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Marcus P., Mansfeld F. Analytical methods in corrosion science and technology. -2006, 760p.
2. Stringer I., Markworth A. J. Corrosion Science, v.35, 1993, p.751.
3. Avnir D. The fractal approach to heterogeneous chemistry. -1998, 232 p.
4. Федер Е. Фракталы. _М. Мир, 1991.-254с.
5. Mandelbrot B. The fractal geometry of nature. 1983, p.243.
6. Михалев А.И., Дервянко А.И., Помулев В.В. Фрактальное оценивание зернистости металлоструктур // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 2 (10) – Днепропетровск. 2000. с. 104-112.