

УДК 517.9

Исследование механизма развития коррозионных поражений с использованием компьютерного зрения

© М. Р. Еникеев¹, М. А. Малеева², И. М. Губайдуллин³

Аннотация. В статье рассматриваются задача исследования процесса коррозии путем визуального контроля проводимого эксперимента. Обсуждаются вопросы использования методов обработки изображения и последующего его анализа. Для оценки коррозионных пятен используется фрактальная размерность.

Ключевые слова: фрактальная размерность, компьютерное зрение, обработка изображений.

1. Введение

В последние годы в области изучения поверхностных процессов нашли широкое применение методы визуального контроля: ‘in situ’ оптическая микроскопия, конфокальная микроскопия, лазерная сканирующая микроскопия, сканерная рефлектометрия и т.д. К разновидности визуальных методов, позволяющих получить изображения на микро- и нано-уровнях, можно отнести электронную и сканирующую зондовую спектроскопии. При всех преимуществах визуальных методов все они имеют один существенный недостаток – трудность в количественном описании полученного изображения в целом. Поэтому в лаборатории коррозии металлов в природных условиях Института физической химии и электрохимии РАН им. Фрумкина (зав. лабораторией Маршаков А.И.) совместно с лабораторией математической химии Института нефтехимии и катализа РАН (зав. лабораторией Спивак С.И.) проводится изучение механизма коррозионных процессов посредством исследования морфологии поверхности металла с использованием фрактального анализа.

При всех преимуществах визуальных методов все они имеют один существенный недостаток – трудность в количественном описании полученного изображения в целом. Несмотря на то, что в последние годы интенсивно развиваются методы трехмерной реконструкции поверхностных микро- и макрообъектов, они, как правило, касаются отдельных дефектов на поверхности и дают минимум информации о механизме межфазных взаимодействий в целом. Как и большинство природных явлений, коррозия по существу является сложной и нерегулярной, поэтому морфология и изображения поверхности, подвергшейся коррозионному разрушению, не могут быть совершенно идентичными даже в случае использования одного и того же материала и коррозионной среды. Другими словами, изображения протекшего металла нерегулярны и невоспроизводимы. Одним из эффективных путей решения данной проблемы является использование фракталов. В основе фрактального анализа лежит оценка величины фрактальной размерности (ФР). Целью работы является разработка методики оценки коррозионных процессов посредством исследования морфологии металлов во время протекания коррозионного и электрохимического процессов. Итогом работы также будут являться фрактальные характеристики как поверхности всего исследуемого образца, так и локальных коррозионных дефектов.

¹ Аспирант 1-го года обучения лаб. математической химии, Институт нефтехимии и катализа РАН, г. Уфа; mat-83@mail.ru.

² Н.с. лаб. коррозии металлов в естественных условиях, институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН, г. Москва; marina.maleeva1@gmail.com.

³ С.н.с. лаб. математической химии, Институт нефтехимии и катализа РАН, г. Уфа; irekmars@gmail.ru.

2. ФР в коррозионных экспериментах

ФР в коррозионных экспериментах предлагается определять на основании визуальных (оптическая микроскопия, сканерная рефлектометрия) и электрохимических (импедансная электрохимическая спектроскопия, хроноамперометрия) методов. Визуальные методы основываются на обработке цифровых изображений, полученных в ходе эксперимента. При проведении операций обработки изображения выделяют следующие основные этапы: формирование изображения, сегментация изображения и анализ изображения.

2.1. Формирования изображения

К операциям формирования изображения относятся получение изображения, в данном случае цифрового, и предварительная обработка изображения. Цифровое изображение I можно рассматривать как матрицу размером $N * M$, элементами которой являются значения яркости в $I[x, y]$, где x и y – координаты пикселя. Обычно изображения, сформированные различными информационными системами, искажаются действием помех. Это затрудняет как их визуальный анализ человеком-оператором, так и автоматическую обработку в ПЭВМ [1].

В качестве предварительной обработки изображения использовались фильтры шумоподавления и фильтры повышения контрастности и чёткости. Большинство основных методов повышения четкости основаны на простом улучшении контраста изображения. В частности, для повышения четкости использовался метод линейной растяжки гистограммы (2.1).

$$\begin{cases} b = 255/(max - min), \\ a = -b * min. \end{cases} \quad dst(x, y) = a + b * src(x, y), \quad (2.1)$$

где a и b – коэффициенты растяжения, max и min – соответственно максимальное и минимальное значения яркости на изображении, src и dst – исходное и обработанное изображение соответственно.

В качестве предобработки для последующего распознавания использовалось гауссово размытие. Гауссовское размытие – это свертка изображения с функцией

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad (2.2)$$

где μ – математическое ожидание случайно величины, а σ^2 – дисперсия. Матричный фильтр, посчитанный по формуле (2.2), называется гауссианом.

После предварительной обработки изображения необходимо провести операции сегментации, то есть детектировать пятна коррозии на полученном изображении. Необходимо разделить изображения на области, для которых выполняется определенный критерий однородности.

2.2. Сегментация

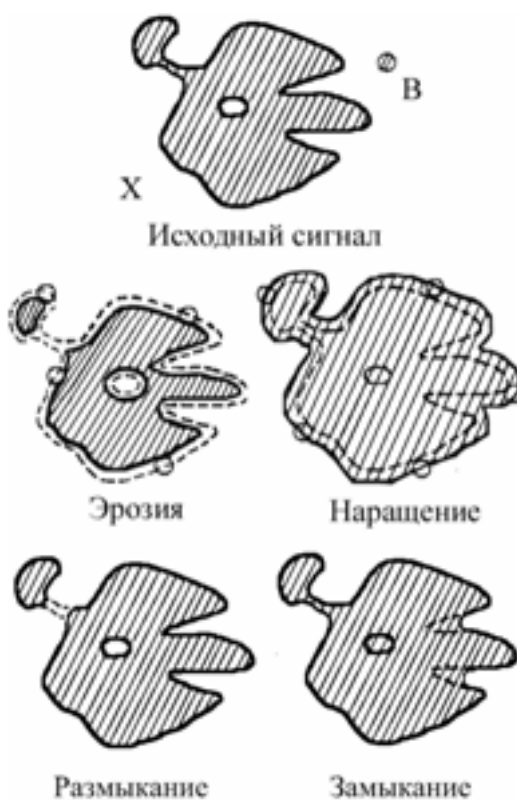
Операция порогового разделения, которая в результате дает бинарное изображение, называется бинаризацией. Целью операции бинаризации является радикальное уменьшение количества информации, содержащейся на изображении. В данной работе использовались, как пороговые, так и адаптивные методы бинаризации, в зависимости от эксперимента.

Бинаризация с нижним порогом является наиболее простой операцией, в которой используется только одно значение порога (2.3).

$$dst = \begin{cases} src(x, y), & src(x, y) > h, \\ 0. & \end{cases} \quad (2.3)$$

Адаптивная бинаризация производится аналогично с (2.3), только $h = T(x, y)$, где $T(x, y)$ - порог, рассчитываемый индивидуально для каждого пикселя.

Для извлечения информации о коррозионном пятне (контуры коррозионного поражения) используются операции математической морфологии. Основные операции: наращивание, эрозия, замыкание и размыкание (рис. 2.1). Операция наращивания увеличивает область изображения, а эрозия делает её меньше. Операция замыкания позволяет замкнуть внутренние отверстия области вдоль её границы. Операция размыкания помогает избавиться от маленьких фрагментов, выступающих наружу области вблизи её границы [2].



Р и с у н о к 2.1

Основные операции математической морфологии.

Таким образом применив операцию размыкания, найдем контуры объектов, отфильтруем те, которые являются слишком маленькими, и к оставшимся контурам применим следующий анализ.

3. Анализ характеристик

Характеристика коррозионного пятна велась при помощи фрактального анализа. Фрактал –геометрическая фигура, обладающая свойством самоподобия. Для оценки коррозионных пятен было решено сравнивать их фрактальную размерность. Основной характеристикой фрактального объекта является его размерность [3]. Фрактальная размер-

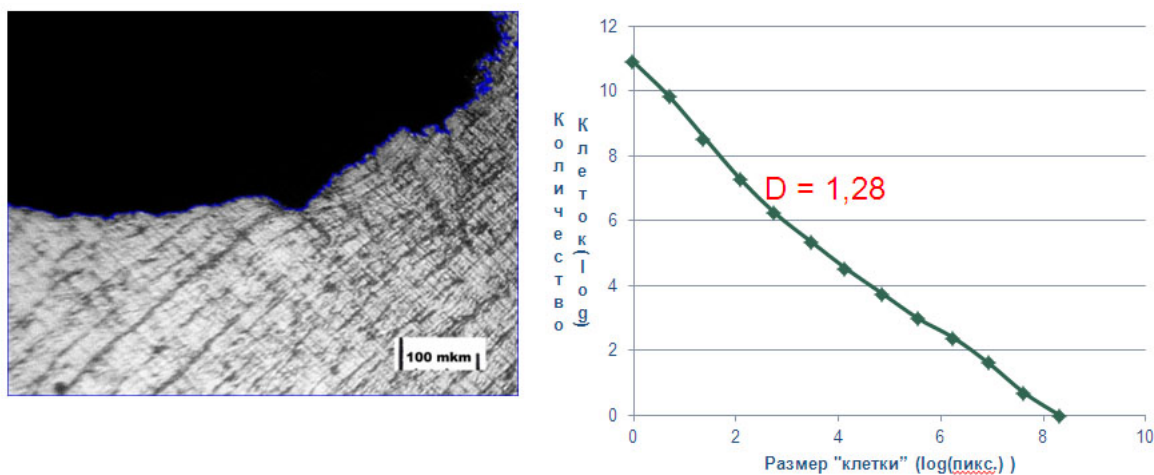
ность, как правило, является неотрицательным нецелым числом, отражающим, некоторым образом, геометрическую сложность объекта и вычисляется следующим образом:

$$D = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\ln N_\varepsilon}{-\ln \varepsilon}$$

где D - фрактальная размерность, N_ε - минимальное число множеств диаметра ε , которыми можно покрыть исходное множество. Для расчета фрактальной размерности использовался box-counting метод. Идея алгоритма состоит в следующем:

1) Исследуемое множество точек разбивается на пиксели размера ε и считается количество пикселей N , содержащих хотя бы одну точку множества. 2) Для разных ε определяется соответствующее значение N , т.е. накапливаются данные для построения зависимости $N(\varepsilon)$. 3) Зависимость $N(\varepsilon)$ строится в двойных логарифмических координатах и определяется коэффициент наклона прямой, который и будет значением фрактальной размерности.

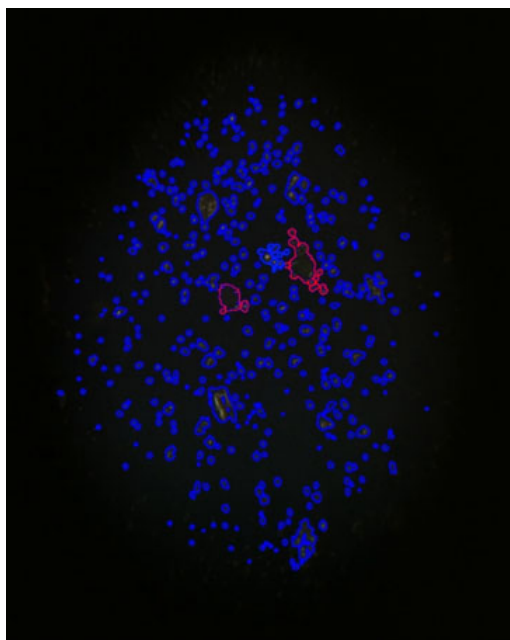
Для образца стали при растрескивании была рассчитана фрактальная размерность. На рис. 3.1 можно увидеть образец стали, с найденной границей и соответствующую ей фрактальную размерность.



Р и с у н о к 3.1

Трещина для стального образца и график зависимости $N(\varepsilon)$ в зависимости от размера ε для определения фрактальной размерности.

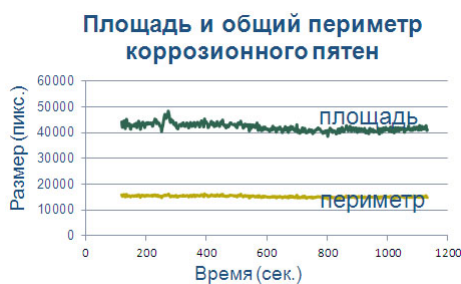
Также наряду с фрактальной размерностью, для ускорения расчетов использовалось понятие компактности – отношение квадрата периметра контура к его площади.



Р и с у н о к 3.2

Детектирование коррозии на образце меди (синий цвет) и побочных дефектов (красный).

Для медного образца пластины (рис. 3.2) при длительном наблюдении было установлено изменение компактности изображения в зависимости от времени (рис. 3.3).



Р и с у н о к 3.3

График изменения коррозии в количественном выражении в зависимости от времени.

4. Заключение

В статье были рассмотрены основные аспекты обработки и анализа изображений в задаче исследования механизма коррозионных поражений. В результате работы:

1) Исследованы методы обработки изображений в контексте использования в задаче поиска коррозионных поражений.

2) Исследован механизм фрактального анализа и в качестве характеристики коррозионного поражения была выбрана фрактальная размерность.

3) Применены описанные алгоритмы для детектирования и распознавания коррозионного поражения для стального и медного образца.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борискевич А. А., *Электронный учебно-методический комплекс по дисциплине Цифровая обработка речи и изображений.*
2. Шапиро Л., Стокман. Дж., *Компьютерное зрение*, Бином. Лаборатория знаний, М., 2006, 752 с.
3. Mandelbort В. В., *The Fractal Geometry of Nature.*, 1982.

Investigation of the mechanism of corrosion damages using computer vision

© М. Enikeev⁴, М. Maleeva⁵, I. Gubaydullin⁶

Abstract. The article deals with the problem of studying the corrosion process by visual inspection conducted the experiment. Discusses the use of image processing techniques and its subsequent analysis. To evaluate the corrosion stains the fractal dimension.

Key Words: fractal dimension, computer vision, image processing. фрактальная размерность, компьютерное зрение, обработка изображений.

⁴ The first year post-graduate student of Mathematical chemistry laboratory, Institute of petrochemistry and catalysis of RAS, Ufa; mat-83@mail.ru.

⁵ Associate of Mathematical chemistry laboratory, Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry of RAS, Ufa; marina.maleeva@gmail.com.

⁶ Senior associate of Mathematical chemistry laboratory, Institute of petrochemistry and catalysis of RAS, Ufa; irekmars@mail.ru.