

УДК 530.1

А.А.Журба, А.И.Михалев, С.И. Губенко

АНАЛИЗ ФРАКТАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХНОСТЕЙ СТАЛИ В ПРОЦЕССЕ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПОЗИТНОЙ СТРУКТУРЫ

В статье рассматривается поверхность стали и изменение ее фрактальной размерности в процессе формирования композитной структуры. Были построены эмпирические распределения локальных фрактальных размерностей поверхностей стали и их фрактальные сигнатуры.

КОМПОЗИТНАЯ СТРУКТУРА, ФРАКТАЛ, ФРАКТАЛЬНАЯ РАЗМЕРНОСТЬ, ФРАКТАЛЬНАЯ СИГНАТУРА (КЕПСТР), ФРАКТАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ, ГЛОБАЛЬНАЯ И ЛОКАЛЬНЫЕ ФРАКТАЛЬНЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ, «ТЯЖЁЛЫЙ ХВОСТ».

В статье рассматривается поверхность стали и изменение ее фрактальной размерности в процессе формирования композитной структуры. Были построены эмпирические распределения локальных фрактальных размерностей поверхностей стали и их фрактальные сигнатуры.

In the article a surface is examined became change of her fractal dimension in the process of forming of composite structure. Empiric distributions of local fractal dimensions of surfaces were built their fractal signatures became.

Композиты представляют собой материалы с упрочняющими элементами в виде волокон, нитей и других составляющих. Комбинируя объемное содержание разнородных компонентов, можно получать материалы с заданными специальными свойствами. При этом материалы приобретают свойства, которыми не обладает каждый из компонентов в отдельности.

Композитная структура образуется соединением вместе двух или более различных компонентов, каждый из которых может представлять собой металл, сплав, неметалл или композит [1]. Современные стали с композитными структурами применяют для обеспечения высоких требований.

На рисунке 1 приведены поверхности стали в процессе формирования композитной структуры. В процессе формирования композитной структуры меняются ее свойства, и, следовательно, изменяется фрактальная размерность. Фрактальная размерность представляет собой важную количественную характеристику и является существенным элементом при фрактальном анализе микроструктур. В таблице 1 приведены значения фрактальной размерности поверхностей в процессе формирования композитной структуры. Из таблицы видно, что значение фрактальной размерности растет с увеличением времени науглероживания (рисунок 2).

Фрактальная размерность конечной структуры композита на 5-6% больше фрактальной размерности начальной обезуглероженной поверхности.

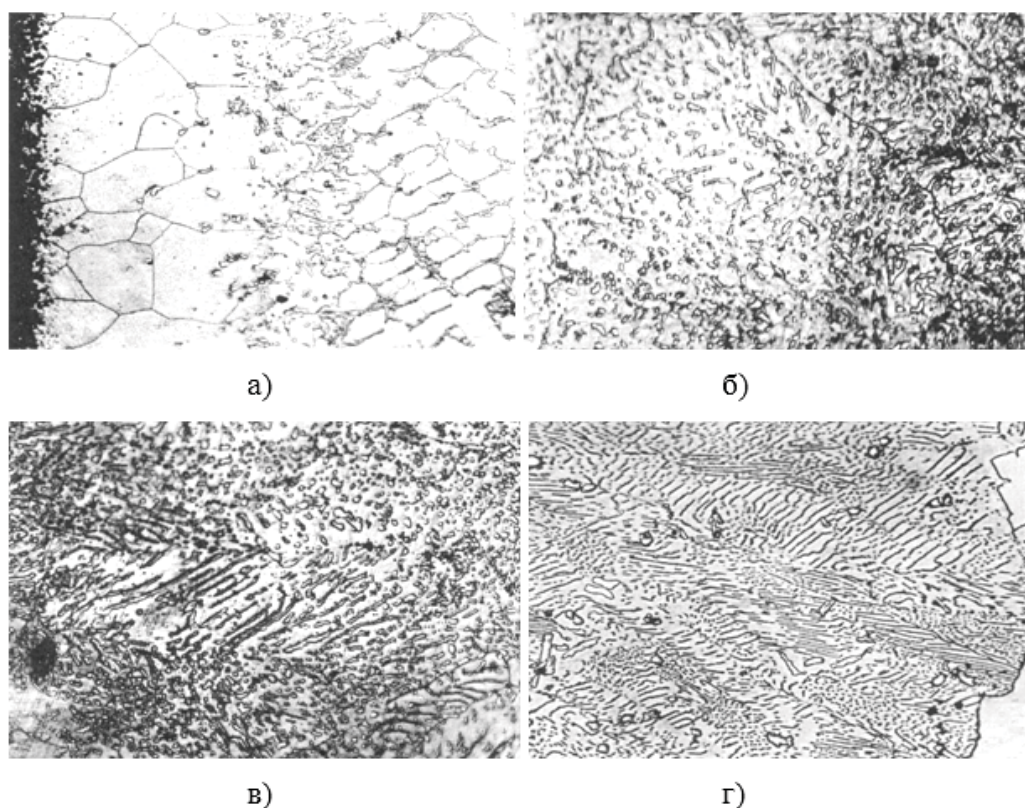


Рисунок 1 – Сталь Р6М5. Процесс формирования композитной структуры: а) обезуглероженный поверхностный слой; б) науглероживание 30 минут; в) науглероживание 1 час; г) науглероживание 2 часа, конечная структура

Таблица 1

Изменение величины фрактальной размерности в процессе формирования композитной структуры

№ рисунка	Описание	Время науглероживания	Изменения	Фрактальная размерность
Рисунок 1а	Обезуглероженный поверхностный слой. Увеличение в 100 раз. $t = 1200^{\circ}\text{C}$	-	Почти нет частиц карбидов	$D=1.8515$
Рисунок 1б	Последующее науглероживание в среде пропан+азот. Увеличение в 500 раз. $t = 1180^{\circ}\text{C}$	30 минут	Появились глобулярные карбиды	$D=1.9147$
Рисунок 1в	Последующее науглероживание в среде газ(пропан)+азот. Увеличение в 500 раз. $t = 1180^{\circ}\text{C}$	1 час	Карбидов стало больше и они начинают менять форму	$D=1.9704$
Рисунок 1г	Последующее науглероживание. Увеличение в 250 раз. Конечная структура – колонии аустенита+карбид	2 часа	В результате изменения формы карбидов возникли колонии	$D=1.9563$

При определении фрактальной размерности возникает проблема, если изображение поверхности состоит из фрагментов, имеющих различные оценки размерности. Изображение может состоять из нескольких составляющих, часть из которых при масштабе, большем некоторого числа, становится точками, другие же части на этом масштабе остаются множествами. Если оценивать фрактальную размерность всего изображения (глобальная фрактальная размерность), не обращая внимания на масштабы, то оценка фрактальной размерности может быть некорректной, искаженной, так как часть участков изображения будет непроанализированной [2,3].

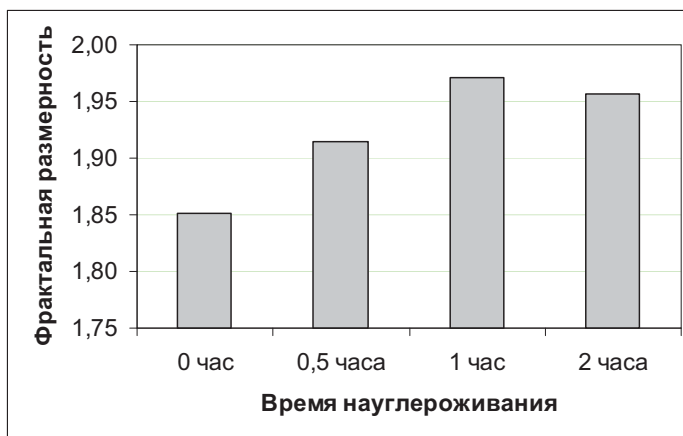


Рисунок 2 - Изменение величины фрактальной размерности в процессе формирования композитной структуры

На рисунке 3 приведена обезуглероженная поверхность стали (рисунок 1а), разбитая на фрагменты. Каждый фрагмент визуально отличается друг от друга. Следовательно, фрактальная размерность каждого фрагмента будет разной и будет отличаться от размерности всего изображения. Фрактальная размерность всего изображения $D = 1.8515$, фрактальные размерности фрагментов изображения: $D_1 = 1.986$, $D_2 = 1.7913$, $D_3 = 1.8971$, $D_4 = 1.8371$.

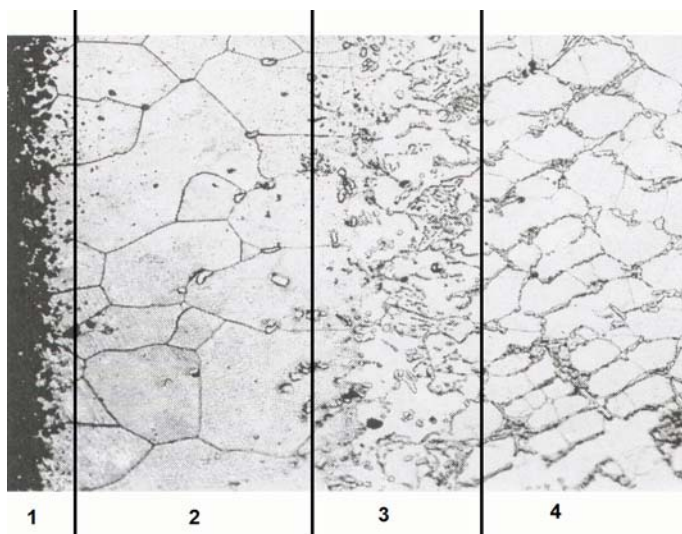


Рисунок 3 – Обезуглероженная поверхность стали, разбитая на фрагменты

Для решения этой проблемы необходимо разделить изображение на малые фрагменты и в этих фрагментах оценивать фрактальные размерности (локальные фрактальные размерности). Если фрагменты находятся на изображении фрактала, имеющего одинаковую размерность, то и общая оценка размерности по этим фрагментам останется постоянной.

Измерение локальных размерностей производится с помощью скользящего окна. После измерения локальных размерностей производится построение эмпирического распределения локальных фрактальных размерностей.

Сложные изображения или изображения, состоящие из множества фрагментов различной природы, после вычисления локальных размерностей дают многомодальные распределения. Каждая мода такого распределения соответствует кластеру изображения, имеющему близкие значения локальных размерностей [3]. На рисунке 4 представлены эмпирические распределения локальных фрактальных размерностей композитной структуры. Из рисунка 4а видно, что структура содержит четыре вида кластеров, имеющих близкие значения локальных размерностей, что соответствует поверхности на рисунке 1а. На рисунке 4б количество таких кластеров сокращается до трех, что говорит о том, что поверхность на рисунке 1б стала более однородной. Распределения на рисунках 4в и 4г говорят о том, что наблюдается однородность поверхностей, представленных на рисунках 1в и 1г.

Как правило, в окрестности значения фрактальной размерности полезной составляющей присутствует «тяжелый хвост» фрактального распределения (паретиана), достигающий стабильной величины 10-20% [3].

При определении фрактальной размерности возникает проблема, если неизвестен конечный масштаб, в результате чего фрактальная размерность может быть искажена. Возникает вопрос о размере фрагментов изображения. Этот размер должен быть не больше, чем предполагаемые размеры анализируемых элементов изображения. Если размер фрагмента выбрать близким размеру исследуемого элемента, то возможна ситуация, при которой только часть элемента окажется в пределах одного фрагмента, а другая часть окажется в пределах другого фрагмента. Это приведет к искажению оценки размерности, так как кроме фрактального изображения в область анализа попадет и фон, размерность которого другая. Поэтому выбирают размеры фрагментов или окон заведомо малыми, близкими к размерам минимальных элементов ожидаемого фрактального рисунка.

Решить эту проблему помогает построение фрактальной сигнатуры, которая представляет собой зависимость оценок типа от масштаба наблюдения [3].

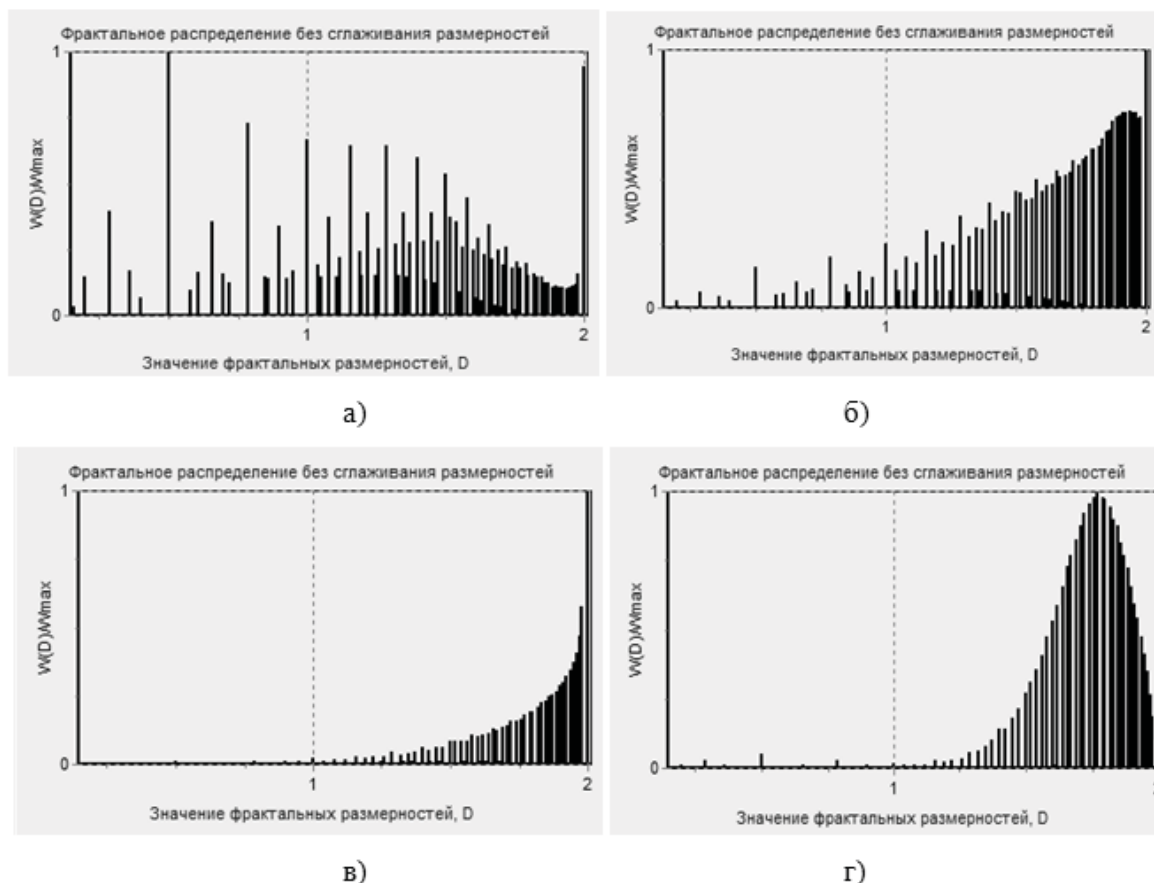


Рисунок 4 – Эмпирические распределения локальных фрактальных размерностей поверхностей в процессе формирования композитной структуры (при размере скользящего окна 15x15 пикселей):
 а) обезуглероженный поверхностный слой;
 б) науглероживание 30 минут; в) науглероживание 1 час;
 г) науглероживание 2 часа, конечная структура

Чтобы иметь возможность различать фракталы, имеющие элементы различных размеров, необходимо проводить анализ на нескольких масштабах одновременно. В этом случае получаем не оценку фрактальной размерности, а зависимость меры от масштаба $S = f(\delta)$ в двойном логарифмическом масштабе, которая представляет собой фрактальную сигнатуру или фрактальный кепстр. На рисунке 5 представлены фрактальные сигнатуры композитных структур.

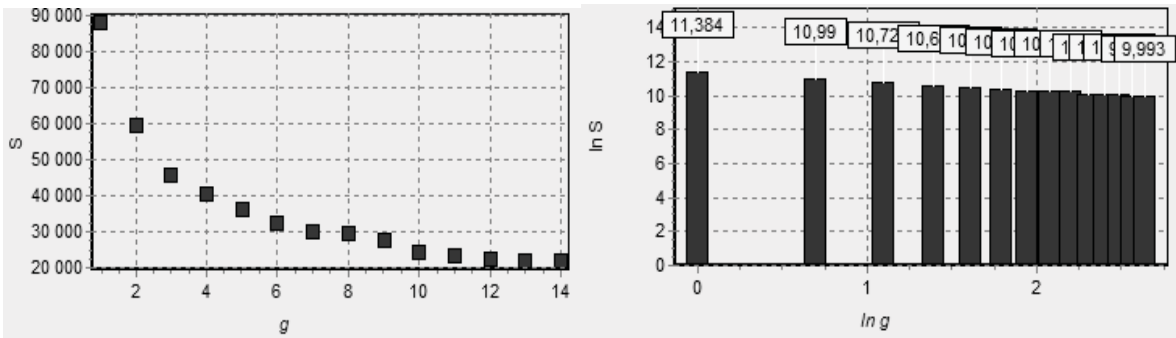
Фрактальные сигнатуры объектов и их производные позволяет оценить фрактальную размерности.

$$D_{\delta} = - \log \frac{S(\delta + \Delta)}{\delta} \frac{S(\delta)}{\delta},$$

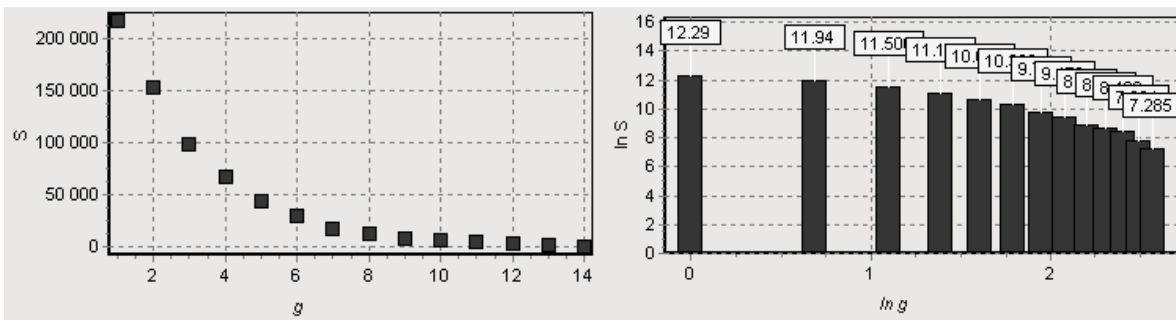
где Δ – шаг дискретизации по масштабу.

Масштаб δ задает размер окна, в котором сглаживается исходное изображение. Размер окна рассчитывается из соотношения $2\delta + 1$. Размеры измерительного и масштабного окон влияют на характер распределения.

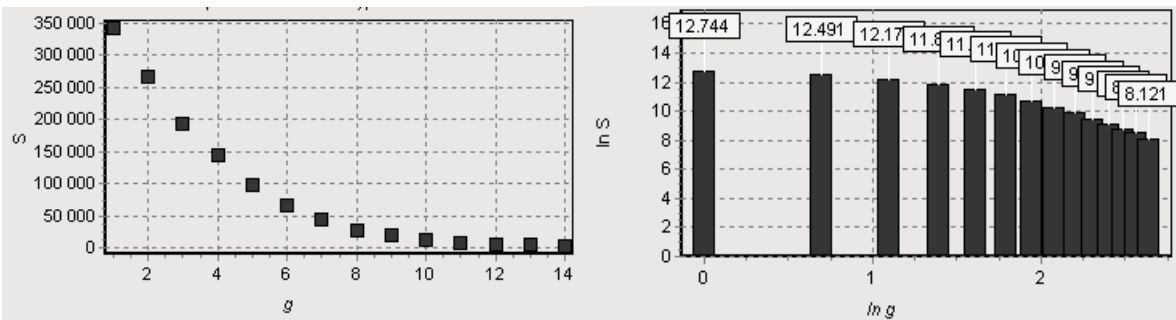
Наибольшие различия в сигнатурах и их производных позволяют определить средний размер элементов структуры.



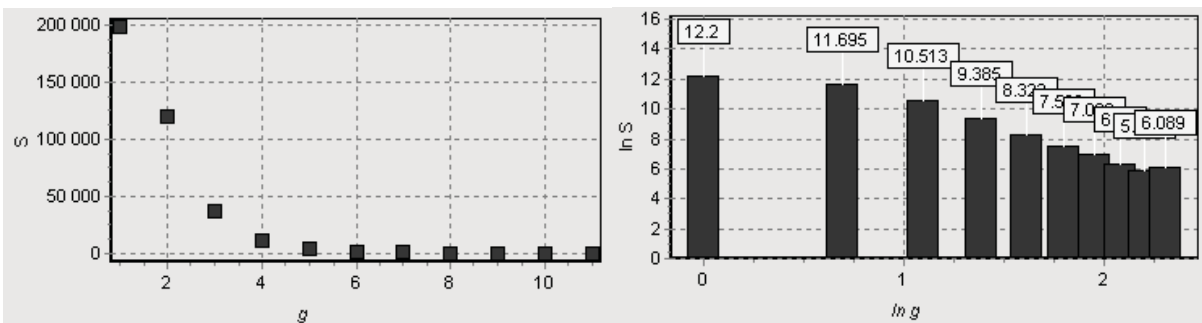
а)



б)



в)



г)

Рисунок 5 – Фрактальные сигнатуры поверхностей в процессе формирования композитной структуры: а) обезуглероженный поверхностный слой; б) науглероживание 30 минут; в) науглероживание 1 час; г) науглероживание 2 часа, конечная структура

Построив фрактальную сигнатуру можно различать самоподобные объекты и определять размер некоторых их элементов. Если изображение состоит из нескольких самоподобных структур, то различия сигнатур будут проявляться сразу в нескольких диапазонах масштабов.

Выводы

В данной работе исследовался процесс формирования композитной структуры и изменение фрактальных характеристик поверхности стали в ходе него. Разработан программный продукт, позволяющий оценивать фрактальную размерность и фрактальную сигнатуру поверхностей, а также строить распределение локальных фрактальных размерностей.

В процессе формирования композитной структуры изменяются ее свойства, и, следовательно, - фрактальная размерность. Выявлено, что значение фрактальной размерности растет с увеличением времени науглероживания. Фрактальная размерность конечной структуры композита на 5-6% больше фрактальной размерности начальной обезуглероженной поверхности.

Изображения, состоящие из множества фрагментов различной природы, после вычисления локальных размерностей дают многомодальные распределения, что говорит о разных размерах кластеров, содержащихся в структуре. Определено, что в процессе формирования композитной структуры фрактальное распределение изменяется существенно. С увеличением времени науглероживания стали распределение локальных фрактальных размерностей перестает быть многомодальным, что говорит о том что, поверхность постепенно становится однородной.

Построение фрактальной сигнатуры позволяет различать самоподобные объекты и определять размер некоторых элементов, что позволяет оценивать их фрактальную размерность.

В заключение можно отметить, что фрактальные методы обработки изображений в широком смысле основаны на той части информации, которая при классических методах безвозвратно теряется, что приводит к потере информации о свойствах поверхностей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Солнцев Ю.П., Пряхин Е.И. Материаловедение: Учебник для вузов. Изд. 4-е, перераб. и доп. - СПб.: ХИМИЗДАТ, 2007. - 784 с.: ил.
2. Журба А.О., Михальов О.І. Побудова фрактальних розподілень поверхонь Пенроуза //Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 2(73). – Дніпропетровськ, 2011. – с.105-110.
3. Потапов А.А., Гуляев Ю.В., Никитов С.А., Пахомов А.А., Потапова В.А. Новейшие методы обработки изображений. / Под ред. А.А. Потапова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 496 с.

Отримано 16.12.2011 р.