

ВЗАИМОСВЯЗЬ ФРАКТАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛЛОСТРУКТУР И ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИИ

В статье рассматриваются поверхности различных металлоструктур и изменение их фрактальной размерности в зависимости от состава и параметров технологии. Построены эмпирические распределения локальных фрактальных размерностей структур.

Ключевые слова: металлоструктура, фрактальный анализ, фрактальные характеристики, фрактальная размерность, фрактальные распределения.

У статті розглядаються поверхні різних металоструктур та зміна їх фрактальної розмірності в залежності від складу і параметрів технології. Побудовані емпіричні розподілення локальних фрактальних розмірностей структур.

The article discusses various surface metallostructure and changing their fractal dimension depending on the composition and technology parameters. Constructed empirical distribution of local fractal dimensions structures.

Введение. Скейлинговое свойство фрактальных объектов обеспечивает постоянство их основных геометрических особенностей при изменении масштаба. К объектам, которые характеризуются фрактальными свойствами, можно отнести и различные металлоструктуры [2]. В этой связи представляет интерес исследование фрактальными методами поведения структур прокатной ленты и литых сплавов при изменении состава и параметров технологии.

Целью данной работы является анализ фрактальных характеристик поверхностей металлоструктур в зависимости от состава и параметров технологии.

Материалы и методики исследования. В процессе исследования анализировались фотографии структуры прокатной ленты в день получения и после искусственного старения (рисунок 1); фотографии структуры тонкой ленты с различным содержанием бария (рисунок 2); фотографии структур литых сплавов с различным составом (рисунок 3).

В процессе исследований фрактальная размерность микроструктур определялась методом BOX COUNTING [1], который может быть применен к изображениям различной структуры. Для построения фрактальных распределений использовался метод скользящего окна [1].

Прокатное производство служит не только для получения нужной формы изделия, но и для формирования у него определенной структуры и свойств. Одним из методов получения прокатной ленты с определенными свойствами и структурой является использование старения материалов – медленное самопроизвольное необратимое изменение свойств материалов.

Старение происходит под действием теплового движения молекул и атомов, светового и иного излучения, механических воздействий, гравитационных и магнитных полей и других факторов. В результате материал переходит в более равновесное состояние [2]. Поэтому представляет интерес исследование структуры прокатной ленты непосредственно с день получения (старение 0 часов) и после старения 2800 часов (рисунок 1 а, б).

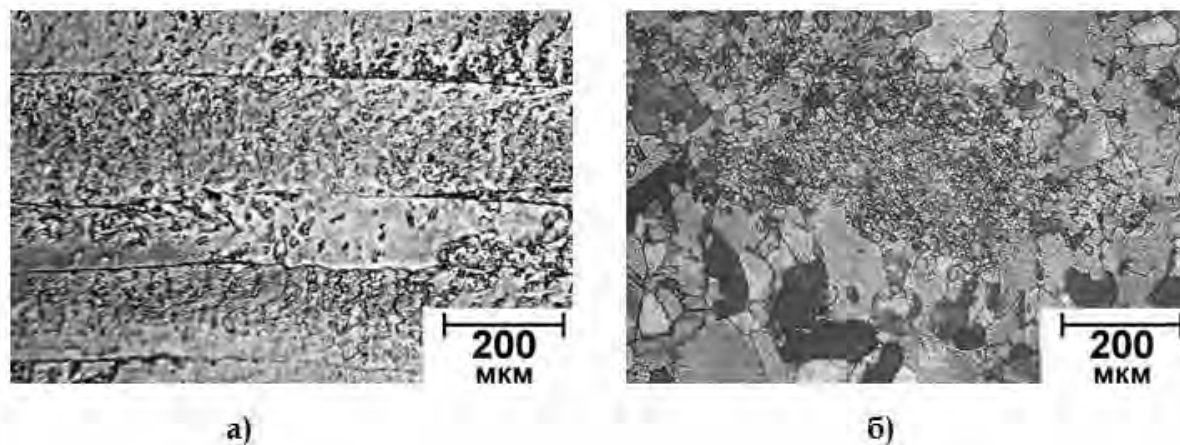


Рисунок 1. – Изображения структуры прокатной ленты, степень деформации 94%, масштаб 200 мкм:
а) время старения – 0 часов; б) время старения – 2800 часов

Существенное влияние на структуру материалов оказывает состав. В связи с этим имеет смысл исследовать структуру тонкой ленты с различным содержанием бария, который существенно влияет на структуру материала за счет уменьшения размеров неметаллических включений и измельчения первичного зерна литого металла (рисунок 2 а, б). Также в работе проведены исследования структур литых сплавов с различным количественным содержанием калия и олова (рисунок 3 а, б).

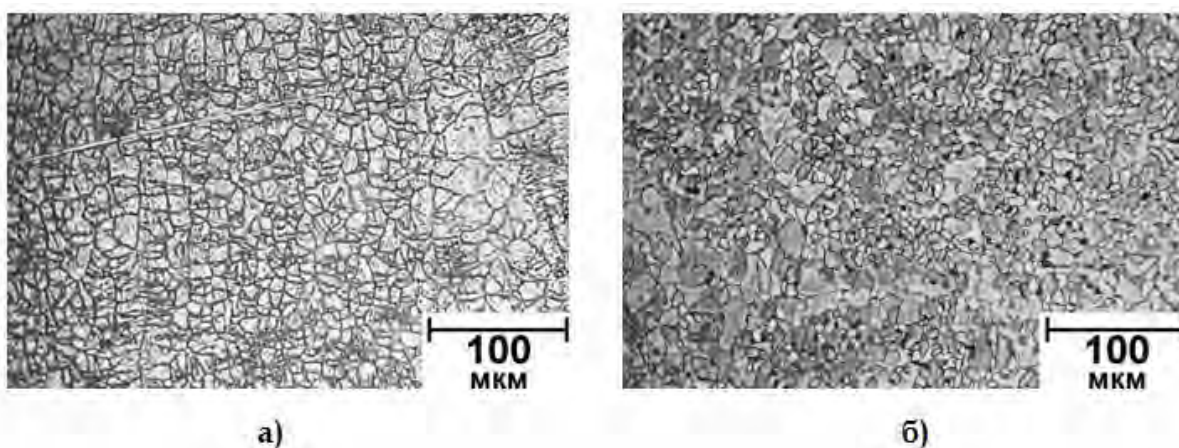
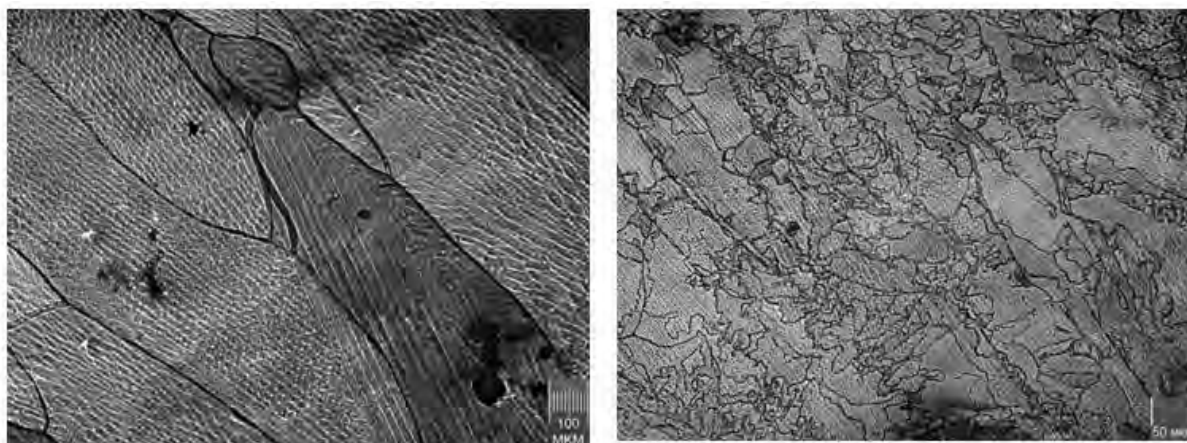


Рисунок 2. – Изображения структуры тонкой ленты из сплава, полученного с помощью охлаждения $10^4 K / c$, $t = 2800ч$:
а) 0.02%Ba; б) 0.03%Ba



а)

б)

Рисунок 3. – Литые сплавы:
а) Свинец + 0.5% Калий + 1.1% Олово;
б) Свинец + 1.1% Калий + 0.3% Олово

Результаты исследований и их обсуждение

В процессе проведения фрактального анализа изображений структуры прокатной ленты с различным временем старения, были получены значения фрактальной размерности и фрактальные распределения.

Фрактальные размерности изображений незначительно отличаются: для прокатной ленты с временем старения 0 часов, фрактальная размерность составляет 1.9759, а с временем старения 2800 часов - 1.9888. Согласно полученным результатам можно говорить о том, что данные изображения характеризуют один и тот же материал и выполнены в одном яркостном диапазоне [3].

Фрактальные распределения данных изображений имеют существенные качественные различия. Изображение, представленное на рисунке 1а, имеет мультимодальное распределение, т.е. имеет 4 моды, следовательно, 4 кластера (рисунок 4а). При этом фрактальное распределение изображения, представленного на рисунке 1б, является однородным (рисунок 4б). Это говорит о том, что качество материала улучшилось. Стоит отметить, что такие характеристики как предел прочности, текучести, твердость приведенного сплава находятся в окрестности своего максимума. Дальнейшая процедура старения приведет к перестариванию материала и снижению данных характеристик. Перестаривание можно увидеть также по фрактальному распределению – снова появятся моды.

В процессе проведения фрактального анализа структур тонкой ленты из сплава, полученных с помощью охлаждения $10^4 K / c$ с различным содержанием бария, были получены значения фрактальной размерности и фрактальные распределения.

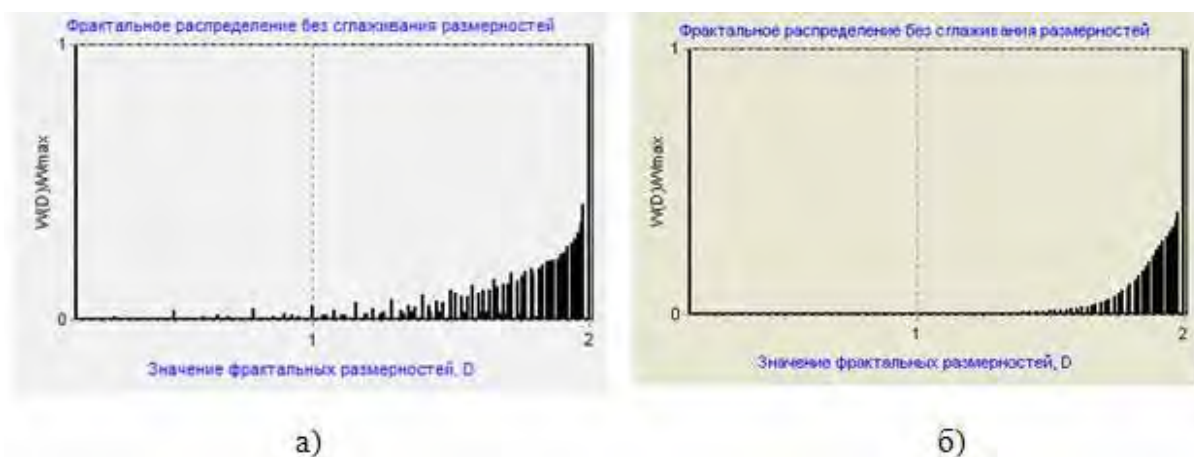


Рисунок 4. – Фрактальное распределение структуры прокатной ленты:
а) 0 часов старения; б) 2800 часов старения

Фрактальные размерности изображений незначительно отличаются друг от друга: для структуры, содержащей 0.02%Ba, фрактальная размерность составляет 1.9552, а структура, содержащая 0.03%Ba, имеет фрактальную размерность 1.9698. Поэтому можно говорить о том, что данные изображения характеризуют один и тот же материал и выполнены в одном яркостном диапазоне.

Фрактальные распределения изображений структур, представленных на рисунке 2, имеют качественные различия. Структура на рисунке 2а имеет мультимодальное распределение, состоящее из 5 мод (рисунок 5а). При этом фрактальное распределение структуры на рисунке 2б является более однородным и содержит всего лишь три моды (рисунок 5б). Это говорит о том, что качество материала улучшилось, но не является идеальным. Стоит отметить, что такие результаты показывают, что барий существенно влияет на структуру материала за счет уменьшения размеров неметаллических включений и измельчения первичного зерна литого металла, но при этом, вряд ли увеличение содержания бария сможет повысить качество сплава до максимально возможного. Таким образом, можно говорить, что барий в данном случае не показал качество эффективного раскислителя, но сыграл роль модификатора.

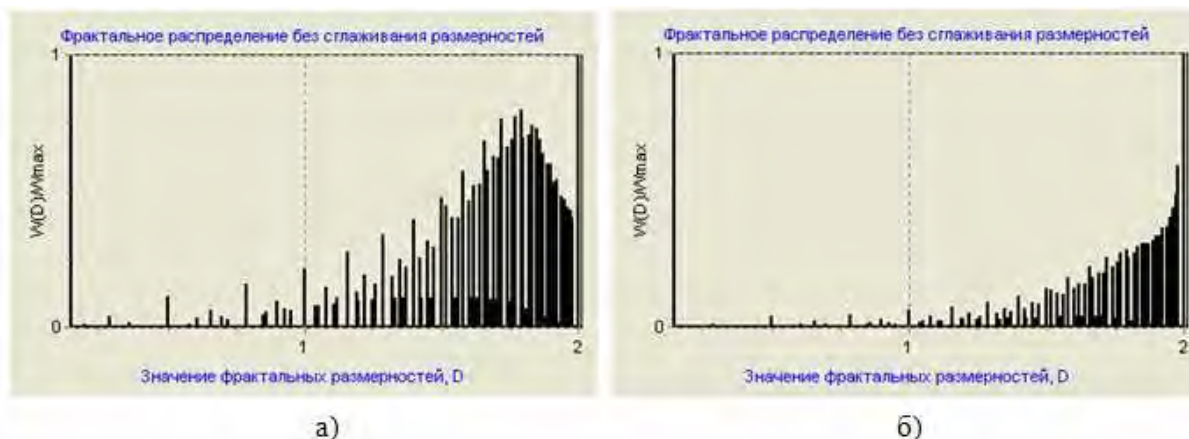


Рисунок 5. – Фрактальное распределение структуры тонкой ленты:
а) 0.02%Ba ; б) 0.03%Ba

В процессе проведения фрактального анализа структур литых сплавов с различным количественным составом, были получены значения фрактальной размерности и фрактальные распределения.

Фрактальная размерность данных изображений значительно отличается: для сплава с составом Свинец + 0.5% Калий + 1.1% Олово значение фрактальной размерности составляет 1.9604, а для сплава с составом Свинец + 1.1% Калий + 0.3% Олово, фрактальная размерность имеет значение 1.9306, что явно выражает разный состав сплавов.

Распределения для изображений, представленных на рисунке 3, показывают следующее: для сплава, представленного на рисунке 3а, распределение имеет более однородный характер, содержащее не более двух мод (рисунок 6а); для сплава, представленного на рисунке 3б – распределение имеет 3 моды (рисунок 6б). Это может свидетельствовать о различном масштабе. При этом при увеличении масштаба выявляется еще один вид кластера, на что указывает появившаяся третья мода распределения.

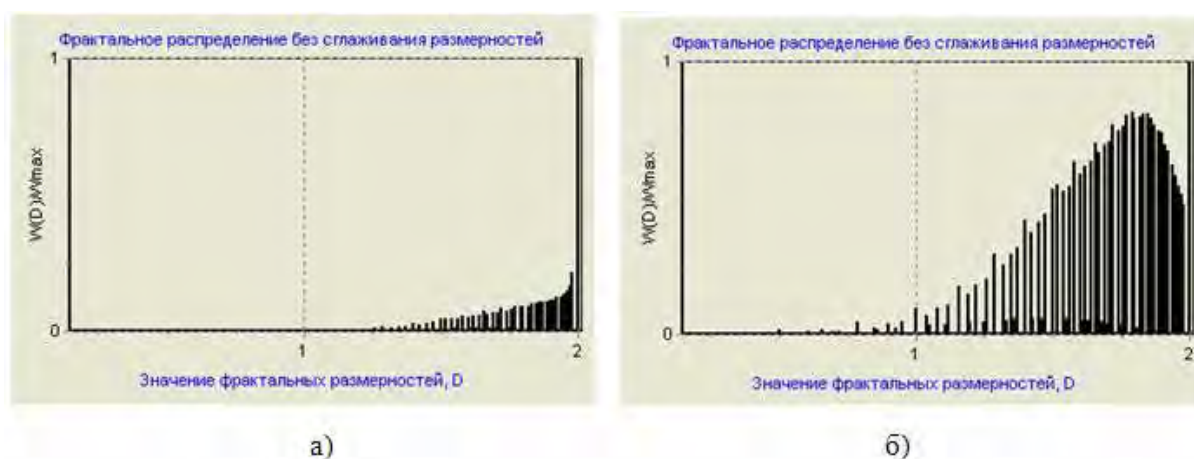


Рисунок 6. – Фрактальное распределение структуры литого сплава:
 а) Свинец + 0.5% Калий + 1.1% Олово;
 б) Свинец + 1.1% Калий + 0.3% Олово

Выводы

В данной работе исследовалось изменение фрактальных характеристик металлоструктур в зависимости от количественного и качественного состава сплавов и параметров технологии.

В работе оцениваются такие фрактальные характеристики как фрактальная размерность и фрактальное распределение.

Выявлено, что значение фрактальной размерности позволяет отследить изменения количественного состава сплава, а характер фрактального распределения – качественные изменения в структуре.

Незначительные колебания значений фрактальной размерности позволяют сделать вывод о том, что количественный состав исследуемых

структур не изменялся. Если же значения фрактальной размерности имеют значительные различия, то в данном случае можно сделать вывод о том, что количественный состав исследуемых структур изменялся.

Вычисление локальных фрактальных размерностей и построение фрактальных распределений дают мультимодальные распределения в случае содержания в структуре кластеров разных размеров. Однородные фрактальные распределения говорят об однородной структуре. Определено, что при изменении фрактального распределения от мультимодального к однородному, значительно улучшаются качественные характеристики структуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Журба А.А. Анализ изменений фрактальной размерности и ее распределения в процессе формирования композитной структуры быстрорежущей стали / А.А. Журба, А.И. Михалёв, С.И. Губенко, Е.А. Черноиваненко // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 4 (81). Дніпропетровськ. - 2012. – С. 155–164.

2. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. — М.: Машиностроение, 1990.

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.