

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ

Аннотация. Работа посвящена имитационному моделированию процесса формирования микроструктуры металлических сплавов. Исследуется процесс формирования микроструктуры и влияние формы микрокристалла на структурные характеристики металлических сплавов.

Ключевые слова: моделирование, форма микрокристалла, металлические сплавы, фрактальная размерность.

Постановка проблемы. На современном этапе развития техники при производстве металла для изделий ответственного назначения уже недостаточно обеспечить высокий уровень чистоты металлов и сплавов по вредным примесям. Актуальной становится задача получения слитков с высокой физической и структурной однородностью. Решение которой, осуществляется на этапе разливки и кристаллизации металла.

В процессе производства крупных отливок и слитков, для подавления и предотвращения образования дефектов кристаллизационного, усадочного и ликвационного характера используют технические приемы, которые позволяют управлять качеством металла непосредственно в процессе затвердевания [1].

Разработана имитационная модель процесса формирования микроструктуры металлических сплавов, описывается следующим выражением:

$$m\ddot{x} + c_0\dot{x} = F(x, u), \quad (1)$$

где x - координаты центров кристаллизации зародышей, $F(x, u)$ - сумма всех сил действующих на частицу, u - вектор входных параметров, c_0 - коэффициент сопротивления – величина обратная подвижности B .

Сумма сил, действующих на микрокристалл:

$$F = F_T + F_A + F_U, \quad (2)$$

где F_T – сила тяжести, действующая на микрокристалл, F_A – сила Архимеда, F_U – сила потенциального взаимодействия, действующая между микрокристаллами.

Образование микрокристаллов происходит на первом этапе процесса кристаллизации жидких металлов. При охлаждении жидкого металла начинается образование центров кристаллизации, в которых атомы металла образуют микрокристалл, имеющий кубическую, призматическую, ромбоэдрическую форму.

Если увеличить скорость охлаждения металлов, больше возникнет центров кристаллизации и тем меньше будут их размеры. И наоборот, чем медленнее остывает металл (например: при кристаллизации в песчано-глинистых формах) тем зерна будут крупнее - до нескольких сантиметров. На рис. 1 представлены три основные формы микрокристаллов.

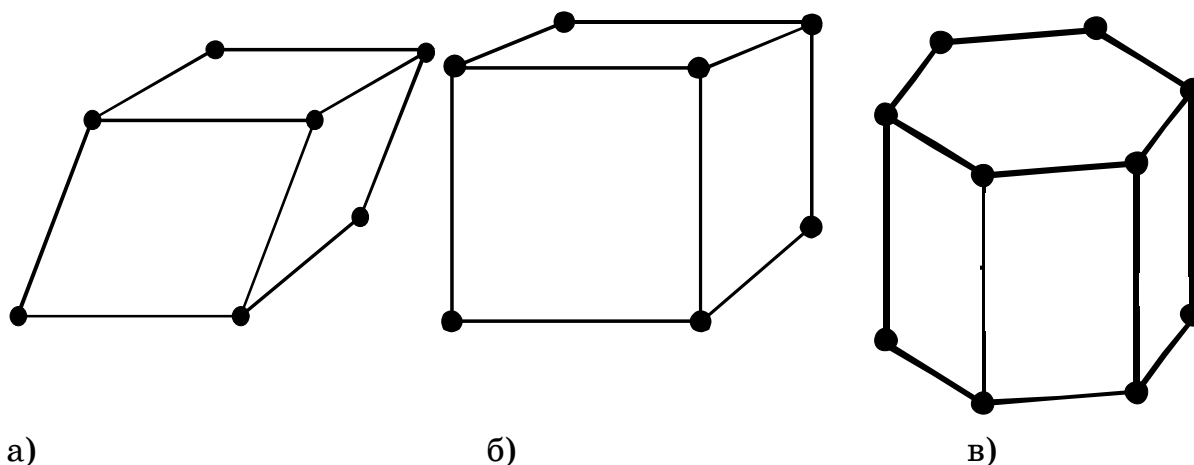


Рисунок 1 - Основные формы микрокристаллов а) ромбоэдрическая, б) кубическая, в) гексагональная

Каждое кристаллическое вещество имеет определенную свойственную ему внешнюю форму микрокристалла. Например, для хлорида натрия и микрокристаллов железа эта форма – куб, для алюмокалиевых квасцов – октаэдр. Если процесс кристаллизации идет не слишком быстро, а частицы обладают удобной для укладки формой и высокой подвижностью, они легко находят свое место. Если же резко снизить подвижность частиц с низкой симметрией, то они застывают произвольно, образуя прозрачную массу, похожую на стекло.

Для проведения моделирования процесса структурообразования был разработан программный продукт «Colcryst – Моделювання та дослідження структури металевих сплавів». С помощью программного продукта «Colcryst» проводилось исследование процесса структурообразования металлических сплавов. «Colcryst» позволяет задавать форму микрокристалла, массу и температуру металлического сплава, и другие параметры.

По результатам исследований микроструктур металлических сплавов было определено, что форма микрокристалла влияет на структурные характеристики металлических сплавов. Учет формы микрокристалла обязателен при моделировании процесса формирования микроструктуры металлических сплавов. С помощью программного продукта «Colcryst» были проведены исследования для трех форм микрокристаллов, которые показали, что при различных формах микрокристаллов меняется интегральная характеристика - значение фрактальной размерности.

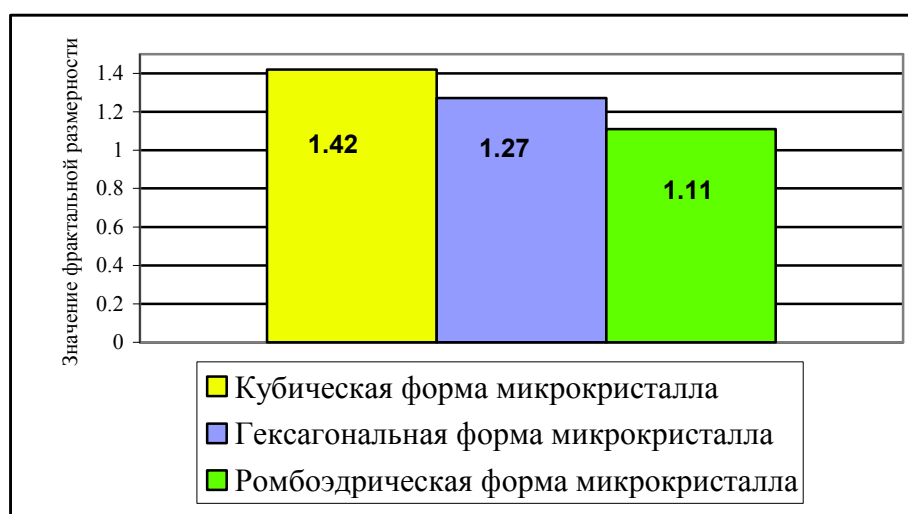


Рисунок 2 - Значение фрактальной размерности при разных формах микрокристаллов

Для трех основных форм микрокристаллов при одинаковых условиях, исследована зависимость в общем объеме количества микрокристаллов от количества микрокристаллов в образовавшихся дендритах. Исследования показали, что в зависимости от формы микрокристалла происходит формирование разного количества дендритов. На рис. 3 представлена зависимость количества микрокристаллов от количества микрокристаллов в дендрите.

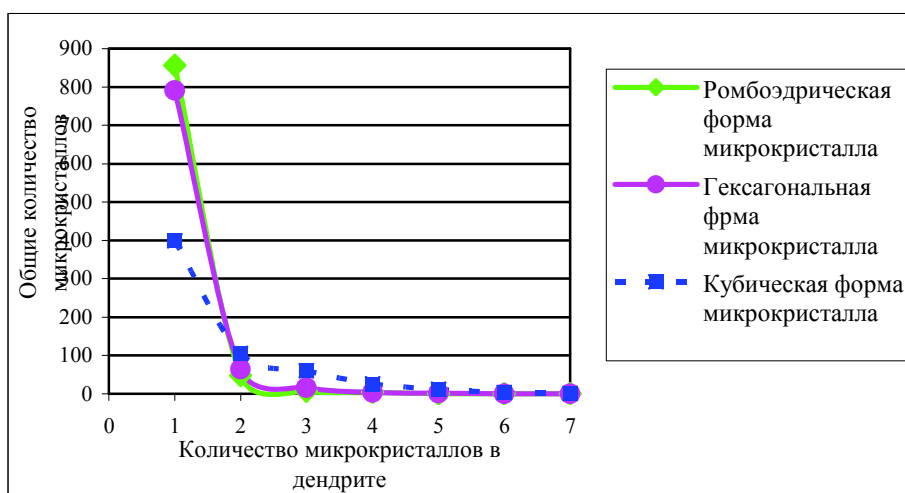


Рисунок 3 - Зависимость общего количества микрокристаллов от количества микрокристаллов в дендрите для разных форм микрокристаллов

На рисунке 4 представлены экспериментальное изображение микроструктуры металлических сплавов и изображение, полученное численным моделированием.

По серии экспериментальных изображений с помощью метода BOX COUNTING, оценены значения фрактальной размерности. Значения фрактальной размерности определялись с помощью программного продукта «MFMet» [2].

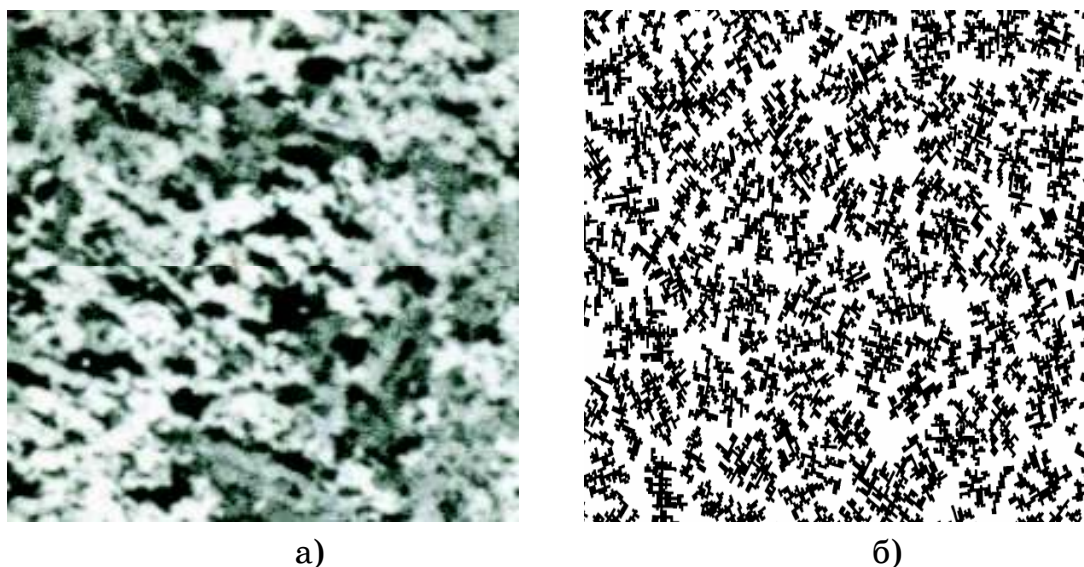


Рисунок 4 - Микроструктура металлического сплава: а) экспериментальное изображение, б) изображение, полученное моделированием

По значениям фрактальной размерности для экспериментальных изображений и изображений, полученных путем моделирования, построены вариационные ряды, по которым статистическими методами определен критерий χ^2 , для каждого вариационного ряда соответственно.

Определен доверительный интервал [1,682; 1,718] для экспериментальных изображений значений фрактальной размерности и [1,675; 1,697] – по результатам численного моделирования. Таким образом, пересечение этих доверительных интервалов находится в диапазоне [1,682; 1,697].

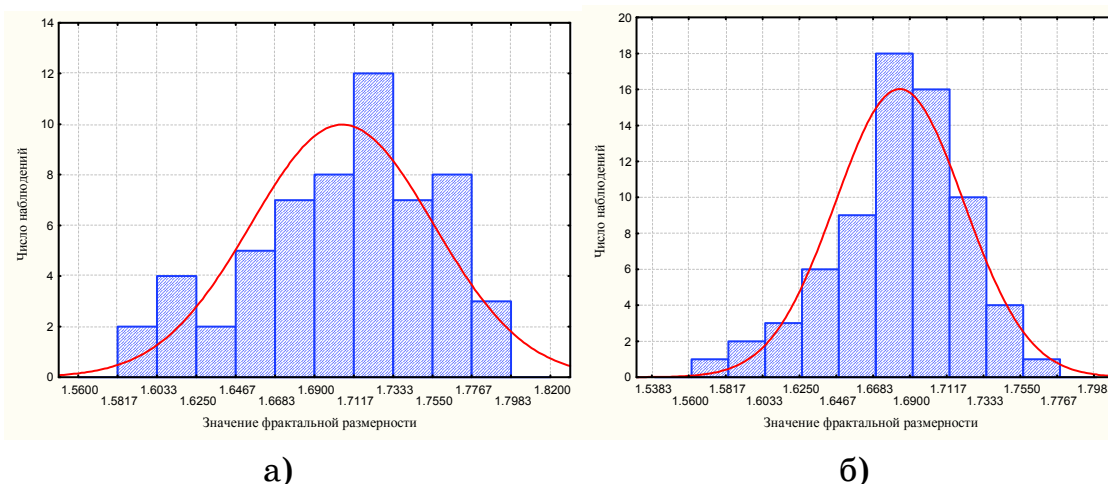


Рисунок 5 - Оценка нормальности распределения по критерию χ^2 для значений фрактальных размерностей полученных:

- а) по экспериментальным изображениям металлических сплавов,
 б) по результатам численного моделирования

Выводы и перспективы дальнейших исследований. В работе рассматривается моделирование процесса формирования микроструктуры металлических сплавов. Разработанная модель позволяет учитывать форму базовой частицы (микрорекристалла) процесса структурообразования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. С. Пройдак, А. И. Дерев'янку, А. А. Кавац, Э. Б. Гальченко // «Исследование процесса формирования микроструктуры металлических сплавов с применением виброобработки» // Praca zbiorowa pod redakcją naukową Prof.dr.hab.inz. Ryszarda Budzika seria Metalurgia nr 56, Czestochowa, 2011 стр. 40-44.
2. Кавац О. О. Влияние вибровоздействия на плотность металлического сплава. / О. О. Кавац, О. І. Дерев'янку // Міжнародна наукова конференція „Математичні проблеми технічної механіки - 2009” – Дніпропетровськ - Дніпродзержинськ – 2009 – с. 229.