

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ

Работа посвящена имитационному моделированию процесса формирования микроструктуры металлических сплавов. Исследуется процесс формирования микроструктуры металлических сплавов в условиях внешних технологических воздействий.

**ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, МИКРОКРИСТАЛЛЫ,
МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ СПЛАВЫ**

Робота присвячена імітаційному моделюванню процесу формування микроструктури металевих сплавів. Досліджується процес формування микроструктури металевих сплавів в умовах зовнішніх технологічних впливів.

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, МІКРОКРИСТАЛИ, МЕТАЛЕВІ СПЛАВИ.

The work is devoted to simulation modeling of the formation of the microstructure of metal alloys. The process of formation of the microstructure of metal alloys in terms of external technological effects.

SIMULATION, MICROCRYSTALS AND METAL ALLOYS.

Введение

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. Наиболее эффективным, из которых является метод, в основу которого положен принцип вибровоздействия на затвердевающий металл [1].

Определение влияния вибровоздействий на изменение скорости структурообразования, является важной задачей металлургии. В последнее время в связи с развитием компьютерных технологий появились возможности решения этой задачи.

С целью изучения влияния внешних технологических параметров (вибровоздействий) на микроструктурные характеристики металлических сплавов были проведены исследования, направленные на поиск эффективных значений частоты внешнего вибровоздействия применение которых позволяет формировать необходимые характеристики металлических сплавов.

Методика проведення експериментальних досліджень

Приложение вибровоздействия непосредственно к литейной форме представляет наибольший практический интерес, поскольку в этом случае наиболее просто с технической точки зрения решается задача подвода вибровоздействия к затвердевающему металлу, а также оказывается возможной обработка нескольких отливок с литейными формами одновременно. Вместе с тем, интенсивность обработки в этом случае может иметь определенные ограничения, которые связаны с прочностью литейной формы и ее устойчивостью на виброплатформе.

Эффективность ограничения роста дендритов в процессе затвердевания расплавленного металла зависит от вида применяемой вибрации [3]. При обработке расплавов в основном применяются два вида вибрации:

- с ориентацией амплитуды колебаний в вертикальной плоскости;
- с ориентацией амплитуды колебаний в горизонтальной плоскости.

Для виброобработки использовали лабораторный источник вибрации (рис. 1), который обеспечивал следующие параметры виброобработки:

- частота вибрации – от 10 до 130 Гц;
- амплитуда колебаний – до 1.0 мм
- возмущающая сила колебаний – до 6 кН.

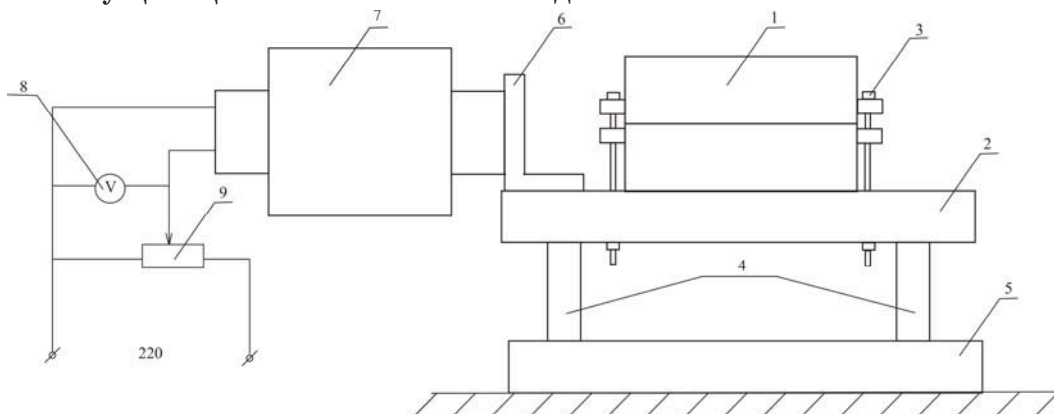


Рис. 1. Схема установки для виброобработки опытных слитков:
 1 – форма; 2 – верхняя плита; 3 – крепежные болты;
 4 – резиновые прокладки; 5 – нижняя плита; 6 – вибратор;
 7 – электродвигатель; 8 – вольтметр; 9 – ЛАТР

Принцип действия лабораторной установки заключается в следующем: в земляную форму 1, установленную на верхней плите 2 и прикрепленную к ней болтами 3, заливается жидкий металл. С помощью электродвигателя 7 приводится в движение эксцентриковый вибратор 6, жестко прикрепленный к верхней плите 2. Частота колебаний, создаваемая вибратором, зависит от частоты вращения вала электродвигателя и регулируется изменением напряжения, подаваемого на его обмотки [3]. Изменение напряжения на обмотке электродвигателя осуществлялось ЛАТРом 9 и контролировалось вольтметром 8. Для обеспечения достаточной степени свободы в направлении колебаний, между верхней 2 и нижней 5 плитами, установлены трубчатые резиновые прокладки 4.

В лабораторных условиях проведены экспериментальные исследования процесса формирования микроструктуры металлических сплавов показали, что использование обработки металла виброколебаниями в горизонтальной плоскости приводит к образованию мелкозернистой структуры. С целью определения эффективных значений частоты внешних вибровоздействий в процессе формирования микроструктуры металлических сплавов разработан программный продукт «Colcryst».

Постановка и решение задачи

Разработанная имитационная модель процесса структурообразования металлических сплавов с применением виброобработки учитывает значение гармонической силы. Моделирование процесса структурообразования металлических сплавов с применением виброобработки проводилось с помощью программного продукта «Colcryst», который позволил задать начальные параметры, идентичные параметрам реального эксперимента процесса формирования микроструктуры.

Имитационная модель процесса формирования микроструктуры металлических сплавов с применением виброобработки, описывается следующим выражением:

$$m\ddot{x} + c_0\dot{x} = F + F_{\max} \sin \omega t, \quad (1)$$

где x - координаты центров кристаллизации зародышей, F - сумма всех сил действующих на частицу, u - вектор входных параметров, c_0 - коэффициент сопротивления – величина обратная подвижности B , F_{\max} - максимальная сила, действующая на частицу при виброобработке.

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

где F_T – сила тяжести, действующая на микрокристалл, F_A – сила Архимеда, F_U – сила потенциального взаимодействия, действующая между микрокристаллами. В результате возникновения вязкого сопротивления и действия вибрации на растущий дендрит развивается давление, которое описывается следующим выражением:

$$p = \omega^2 \cdot \rho \cdot A \cdot \frac{r}{2}, \quad (3)$$

где r - радиус ветвей дендрита, ρ - плотность жидкости, ω - циклическая частота, A - амплитуда.

Максимальная сила, действующая на частицу при виброобработке равна:

$$F_{\max} = p \cdot \pi r^2 = \omega^2 \rho A \frac{r^3 \pi}{2}. \quad (4)$$

На рисунке 2 представлены экспериментальное изображение микроструктуры металлических сплавов без применения вибровоздействия 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».

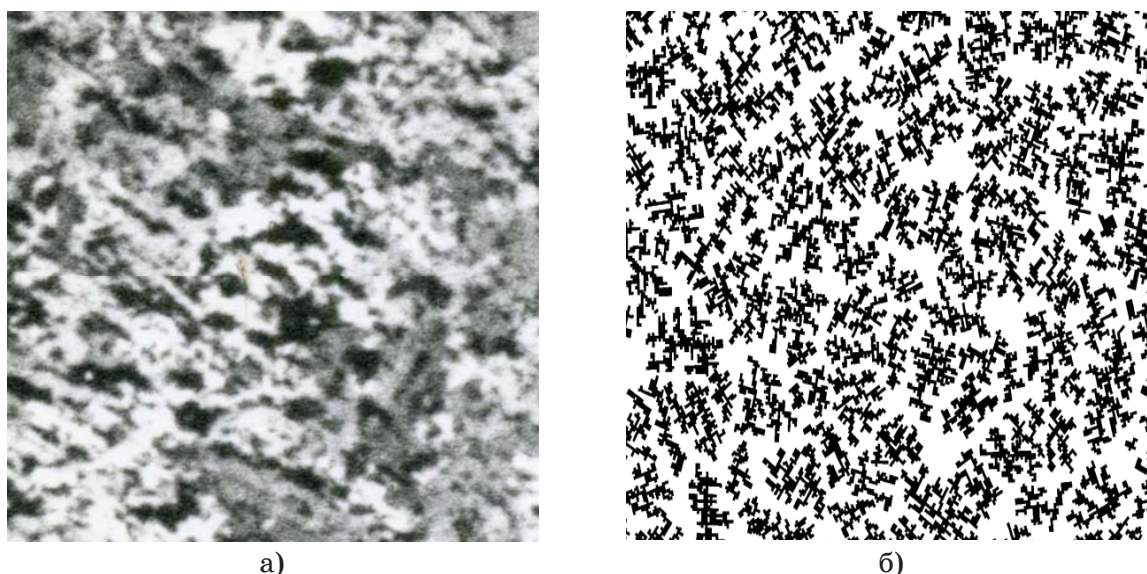


Рис. 2. Микроструктура металлического сплава без применения технологии вибровоздействия (0 Гц): а) экспериментальное изображение, б) изображение, полученное моделированием

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.

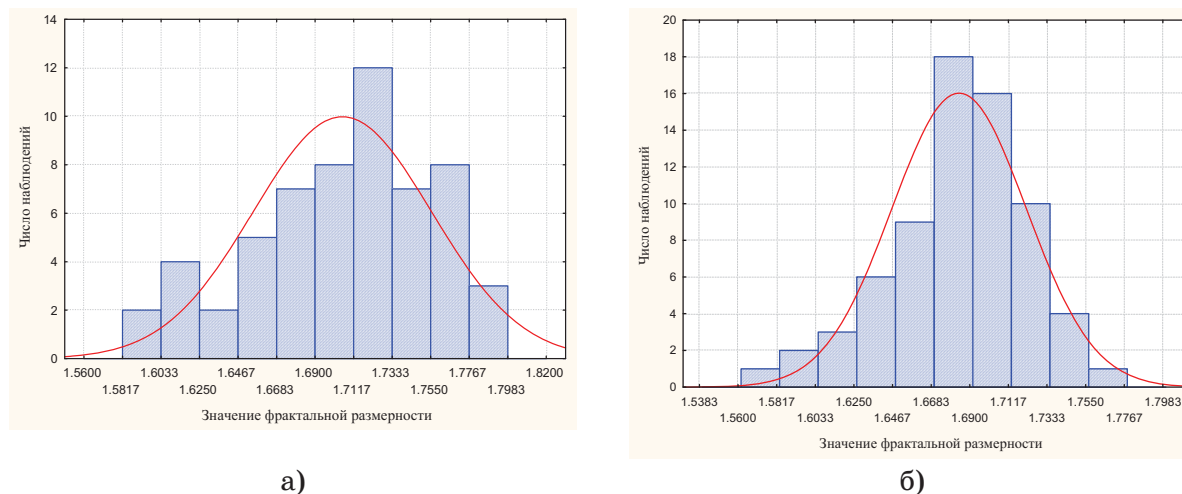


Рис. 3. Оценка нормальности распределения по критерию χ^2 для значений фрактальных размерностей полученных: а) по экспериментальным изображениям металлических сплавов, б) по результатам численного моделирования

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].

Исследования процесса формирования микроструктуры металлических сплавов были проведены для разных значений частот вибровоздействия. На рисунке 4 представлены экспериментальные изображения микроструктуры металлических сплавов с применением вибровоздействия 123 Гц.

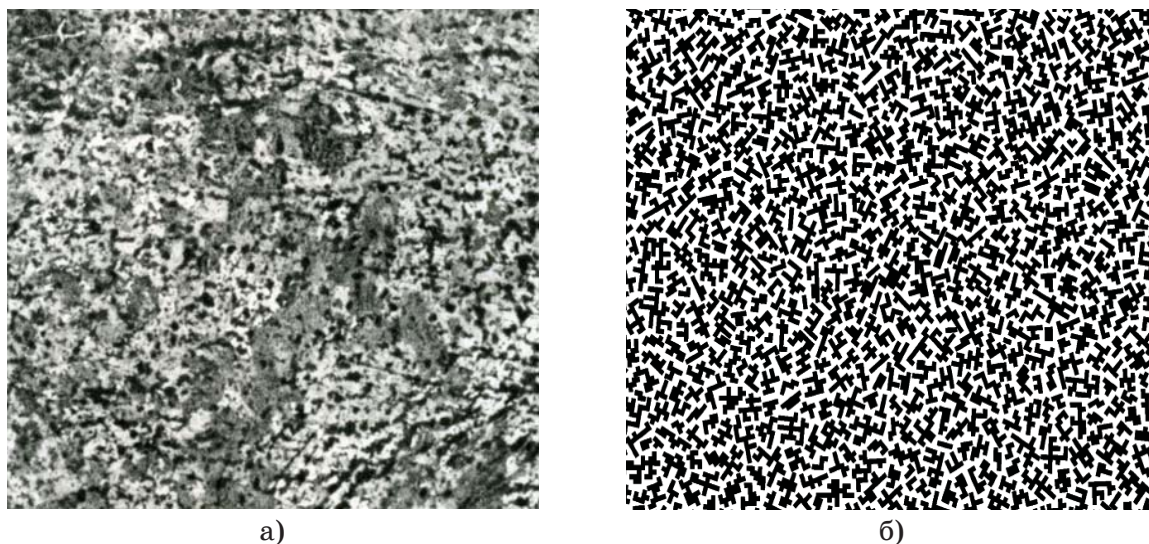


Рис. 4. Изображение микроструктуры металлического сплава с применением вибрационного воздействия (123 Гц): а) экспериментальное изображение, б) изображение, полученное численным моделированием

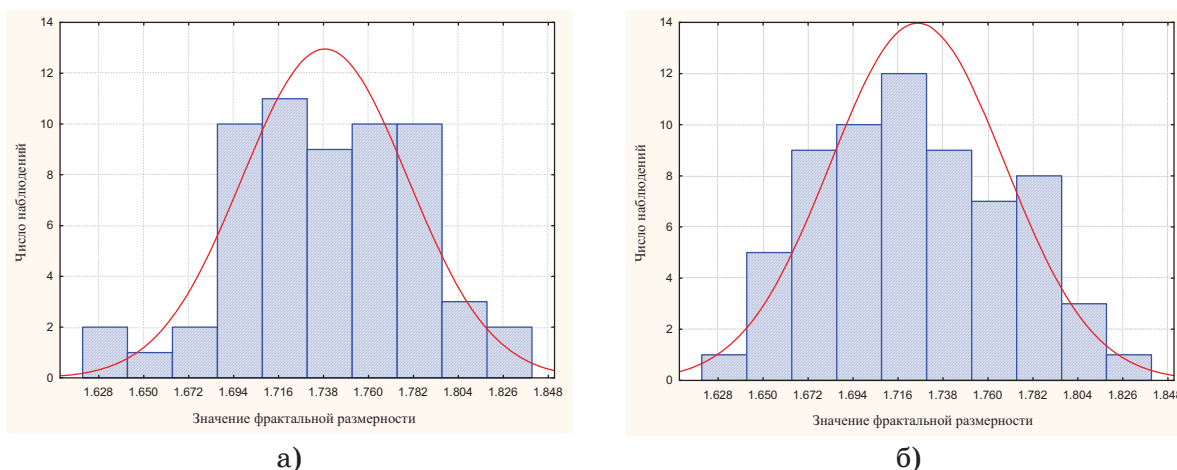


Рис. 5. Оценка нормальности распределения по критерию χ^2 для значений фрактальных размерностей, полученных по микроструктуре металлического сплава с применением вибровоздействия (123 Гц): а) по экспериментальным изображениям, б) по результатам численного моделирования

По серии экспериментальных изображений с помощью метода BOX COUNTING, оценены значения фрактальной размерности. Значения фрактальной размерности определялись с помощью программного продукта

«MFMet». Найден доверительный интервал [1,720; 1,748] для экспериментальных изображений значений фрактальной размерности и [1,714; 1,733] – по результатам численного моделирования. Таким образом, пересечение доверительных интервалов составляет [1,720; 1,733].

В работе проведены исследования зависимости линейных размеров зерна микроструктуры металлического слитка от частоты вибровоздействия. На рисунке 6 представлен график зависимости линейных размеров зерна от частоты виброобработки.

Зависимость линейных размеров зерна микроструктуры слитка от частоты виброобработки

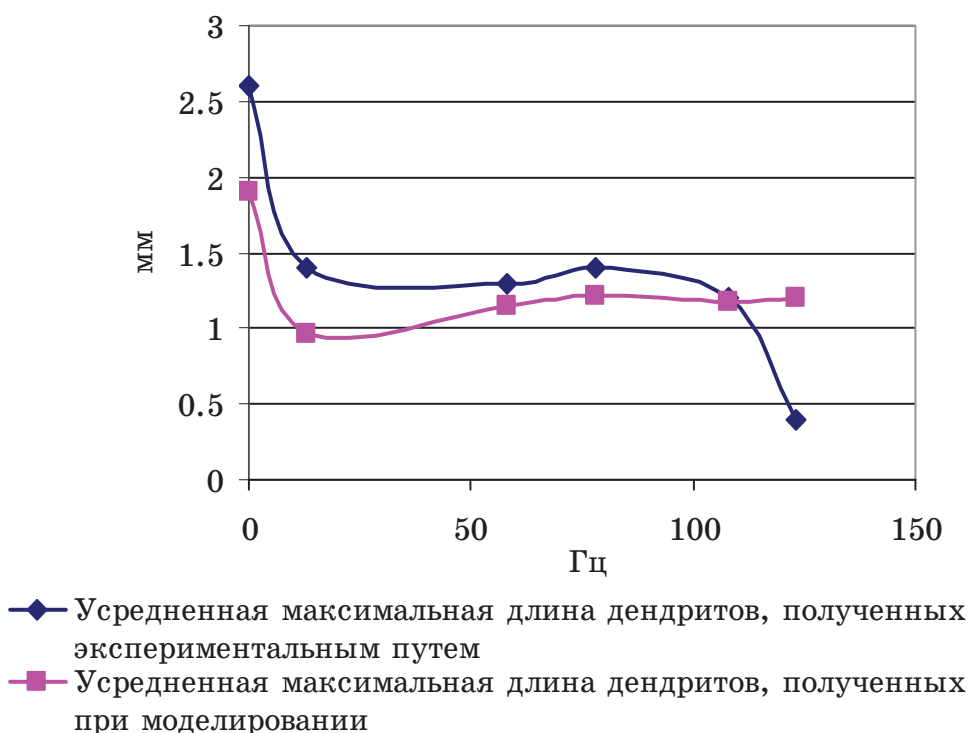


Рис. 6. Зависимость линейных размеров зерна микроструктуры слитка от частоты виброобработки

Проведенные исследования показали, что при виброобработке с частотой от 100 Гц микроструктура слитка металлического сплава становится мелкозернистой. В диапазоне [100 - 123 Гц] формируется однородная, мелкозернистая структура слитка металлического сплава, что улучшает качество металлического сплава.

Выводы

Исследовано влияния виброобработки на структуру металлических сплавов. Доказана достоверность разработанной имитационной модели, процесса формирования микроструктуры металлических сплавов с применением виброобработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пройдак Ю.С., Дерев'янку А.И., Кавац А.А., Кальченко Э.Б. // «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. – P. 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.
3. Троянский А.А., Пилюшенко В.Л., Костецкий Ю.В., Чернышев О.Е., Вислобоков С.Н. Влияние вибромеханической обработки в процессе кристаллизации металла на структуру плоских отливок //Изв. вузов. Черн. Металлургия. № 2., 1993. – С. 56-58.

Получено 20.12.2011 г.