

целесообразное размещение перегородок и продувочных блоков в промковше МНЛЗ.

Список литературы

1. Бойченко С. Б., Пройдак Ю. С., Бойченко Б. М. «Механизм и кинетика процессов, определяющих содержание водорода в стали в промежуточном ковше МНЛЗ» // Процессы литья. – 2013. - № 3 (99). – с. 12-17.

УДК 669.1

А.А. Бурбелко, Й. Почонтек

AGH University of Science and Technology, Faculty of Foundry Engineering, Krakow

УСРЕДНЕННЫЙ ПОЛИЭДР ВОРОНОГО В МОДЕЛИРОВАНИИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ

Моделирование роста равноосных зерен, контролируемого диффузией, является элементом многих микромоделей фазовых превращений, используемых для прогнозирования процессов кристаллизации металлических сплавов: однофазной, перитектической или эвтектической в сплавах типа чугуна с шаровидным графитом. В известных математических моделях принимается, как правило, идеализированная трехмерная сферическая геометрия *элементарного поля микро-диффузии* (ЭПМД). При этом остаётся нерешенным вопрос правильного моделирования заключительного этапа кристаллизации, когда геометрия диффузионных потоков сильно отличается от идеализированной, а граница контакта между растущей твёрдой фазой и исчезающей жидкой быстро уменьшается в результате столкновения соседних зёрен.

Габаритный размер ЭПМД во многих известных моделях [1-4] рассчитывается на основании средней величины зерна:

$$r_o = \left(\frac{3}{4\pi n} \right)^{1/3} \quad (1)$$

где N – удельное количество зёрен, м^{-3} .

При условии случайного равномерного распределения сферических зерен такого размера в пространстве, согласно статистической теории кристаллизации [1], более 1/3 всего объема анализируемого материала фактически будет находиться за пределами ЭПМД. В связи с этим в некоторых моделях габаритная величина элементарного объема увеличивается по сравнению с величиной, рассчитанной согласно

уравнению (1). При этом нарушается баланс массы, поскольку суммарный объем всех ЭПМД превышает фактический объем образца.

Для описания структуры равноосных зёрен часто используется разбиение Вороного. Согласно [5], при разбиении трехмерного пространства на полиэдры Вороного среднюю величину объема части пространства полиэдра, находящейся на расстоянии от его центра, не превышающем r , определяет следующее уравнение:

$$V(r) = \frac{1}{n} \left(1 - \exp\left(-\frac{4}{3} \pi n r^3\right) \right) \quad (2)$$

Площадь поверхности, отделяющей внутреннюю часть усредненного полиэдра Вороного, от его внешней части, можно определить следующим образом:

$$F(r) = \frac{dV(r)}{dr} = 4\pi r^2 \cdot \exp\left(-\frac{4}{3} \pi n r^3\right) \quad (3)$$

Учитывая уравнения (2) и (3), предложено использовать конечно-разностный метод моделирования поля микро-диффузии, используя в качестве разностных элементов элементарного баланса концентрические слои усредненного полиэдра Вороного, объем которых равен:

$$\Delta V_i = \frac{1}{n} \left\{ \exp\left(-\frac{4}{3} \pi n r_i^3\right) - \exp\left[-\frac{4}{3} \pi n r_{i+1}^3\right] \right\} \quad (4)$$

Для таких балансовых элементов разностное уравнение элементарного баланса может быть представлено в виде:

$$\Delta V_i \cdot \frac{C_i(\tau + \Delta\tau) - C_i(\tau)}{\Delta\tau} = D(r_i) \cdot \text{grad}[C(r_i)] \cdot F_i - D(r_{i+1}) \cdot \text{grad}[C(r_{i+1})] \cdot F_{i+1} \quad (5)$$

где: C – локальная концентрация раствора, D – коэффициент диффузии, τ – время, $\Delta\tau$ – шаг дискретизации по оси времени.

Список литературы

1. Kapturkiewicz W. Modelowanie Krystalizacji Odlewów żeliwnych, WN AKAPIT, Kraków, 2003, s. 1–173.
2. Das A., Manna S., Pabi S. K. A numerical model of peritectic transformation // Acta mater. – 1999. – Vol. 47, No. 4. – P. 1379–1388.
3. Tanzilli R. A., Heckel R. Numerical Solution to the Finite Diffusion-Controlled, Two_Phase, Moving_interface Problem (with Planar, Cylindrical, and Spherical Interfaces) // Transactions of the Metallurgical Society of AIME. – 1968. – Vol. 242. – P. 2313–2321.

4. LanamR. D.,HeckelR. W. A study of the effect of an Intermediate Phase on the Dissolution and Homogenization Characteristics of Binary Alloys // Metallurgical Transactions. – 1971. – Vol. 2. – P. 2255-2266.

5. Колмогоров А.Н. К статистической теории кристаллизации металлов // Изв. АН СССР. Сер. матем. – 1937. – 1:3. – С. 355-359.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Национального центра научных исследований Польши (Polisch NCNproject nr DEC-2011/01/B/ST8/01689)

УДК 621.746

А.Г. Величко, Б.М. Бойченко, Е.В. Синегин, С.Б. Бойченко

Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск

АКТУАЛЬНАЯ КОМПЛЕКСНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКИ СТАЛИ

Технология основана на обобщении фундаментальных исследований и обширного экспериментального материала, накопленных в мировой практике. Её концепция такова.

Уровень выхода годного металла, достигнутый на действующих МНЛЗ обычной конструкции, в настоящее время приближается к своему предельному значению. Дальнейшие усовершенствования возможны за счёт повышения производительности, что обеспечивается увеличением массовой скорости разливки, сокращением числа прорывов металла, а также повышением качества металла при применении управления процесса с использованием ЭВМ.

Ключевыми факторами, определяющими производительность МНЛЗ, являются коэффициент использования МНЛЗ, а также массовая скорость разливки, определяемая произведением сечения на литейную скорость.

В последнее время на МНЛЗ широко используется непрерывная разливка методом «плавка на плавку». Это обусловлено, в первую очередь, надлежащей конструкцией МНЛЗ и вспомогательного оборудования, например, устройством для смены погружных стаканов, автоматическим изменением ширины кристаллизатора и т.д.

В настоящее время, учитывая достигнутый уровень технологии, следует подчеркнуть, что продолжительность серийной разливки ограничивается не конструкцией МНЛЗ, а марочным сортаментом или наличием разливаемой стали.