

УДК 621.74.011 : 669.018.28.017

Л.А.Орлов (6 курс, каф. ФХЛСиП), В.М.Голод, к.т.н., проф.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИФFUЗИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДЕНДРИТНЫХ ВЕТВЕЙ В УСЛОВИЯХ СОВМЕСТНОГО РОСТА

Формирование дендритной структуры литейных сплавов определяется совместным действием температурных и концентрационных полей, причем определяющую роль играет именно диффузионное взаимодействие растущих ветвей, в результате которого происходит изменение скорости и геометрических параметров их роста.

Концентрационные поля в пространственной области роста дендритов (в предположении подавления диффузии в твердой фазе) могут быть найдены путем решения диффузионного уравнения (1) в жидкой фазе:

$$\frac{\partial C}{\partial \tau} = D \nabla^2 C, \quad (1)$$

где C - концентрация, D - коэффициент диффузии, τ - время. В условиях задачи с фазовым переходом на подвижных границах аналитическое решение невозможно, но задача может быть решена численно путем введения пространственно - временной сетки в данной области. В качестве первого приближения решали задачу о совместном росте двух соседних ветвей второго порядка, при этом граничные условия уравнения (баланс примеси) задавали на подвижных границах, определяемых контурами ветвей, растущих в форме параболоидов вращения. Моделировали задачу на плоскости. Принимали что рост ветвей происходит при постоянном переохлаждении ниже ликвидуса и при постоянном значении термического критерия Пекле $Pe_T = (V^*R)/2a$, где a -коэффициент температуропроводности, V -скорость роста ветви (скорость движения фронта кристаллизации), R -радиус кривизны вершины ветви. В данной модели не учитывали процессы коалесценции, которые на начальной стадии роста играют малую роль [1]. При моделировании в качестве исходных данных использовали параметры сплавов с коэффициентом распределения $k < 1$ и постоянным наклоном линии ликвидуса m на диаграмме непрерывных твердых растворов. Граничные условия записывали в виде:

$$-D \frac{\partial C^{\tau+\Delta\tau}}{\partial n} = V(C^{\tau+\Delta\tau} - C^\tau) \quad (2)$$

где правая часть представляет собой изменение во времени средней концентрации в ячейке на фронте кристаллизации, левая часть – перенос избыточной примеси в пространстве от фронта в расплав, n – нормаль к фронту.

Порядок решения:

1) задавали начальные значения V и R для каждой ветви, в результате решения уравнения (1) в текущий момент времени находили концентрационное поле в заданной области в процессе выделения примеси; на вершинах осей происходит изменение концентрационного градиента G_c [2], которое приводит к изменению их радиусов R :

$$R = \frac{\Gamma - \sigma^* Pe_T \Delta H}{\sigma^* m G_c c_p}, \quad (3)$$

где Γ – константа Гиббса-Томсона, σ^* – параметр стабильности, ΔH – изменение энтальпии при кристаллизации, c_p – теплоемкость; изменение скорости V находили из условия $Pe_T = const$.

2) на следующем шаге по времени решали задачу с новыми значениями R и V .

3) во втором приближении в задаче было снято допущение о постоянном переохлаждении, и совместно решали уравнения диффузии (1) и теплопроводности (4) с

различными значениями коэффициента температуропроводности для жидкой и твердой фаз:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \nabla^2 T \quad (4)$$

Результатом моделирования является построение диффузионной картины в области существования соседних ветвей, а также выяснение закономерностей их роста и остановки. На втором этапе планируется ввести в рассмотрение процессы коалесценции и дать более полный анализ соотношения процессов конкурентного роста и (или) растворения дендритных ветвей.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Л.А. Орлов, В.М. Голод. Анализ условий формирования междуосных промежутков дендритов в литейных сплавах // XXVII неделя науки СПбГТУ. Материалы межвуз. научн. конф. СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1999.
2. J.Lipton, M.E. Glicksman, W. Kurz. Equiaxed Dendrite Growth in Alloys at Small Supercooling, Metall.Trans. 1987, vol.18A, #2, 341-343.