

3. Действие мощного импульсного электрического разряда в воде. II. Экспериментальные результаты / Вилков К. В., Григорьев А. Л., Нагель Ю. А., Уварова И. В. // ПЖТФ. – 2004. – Т. 30, Вып. 7.

4. Григорьев А. Л. Формирование ударных волн импульсными электрическими разрядами в воде и исследование их воздействия на преграды / А. Л. Григорьев. – Москва: ФГУП «Исследовательский центр имени М. В. Келдыша», 2007. – 150 с.

УДК 669-154

**А.Г. Пригунова<sup>1</sup>, С.С. Петров<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев;

<sup>2</sup>Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

### **ОЦЕНКА РАЗМЕРА КЛАСТЕРОВ КРЕМНИЯ В РАСПЛАВАХ СИЛУМИНОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ СЕДИМЕНТАЦИИ В ПОЛЕ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ СИЛ**

Известен метод определения размера кластеров Si в расплавах силуминов при седиментации их в поле центробежных сил. Однако он обладает принципиальным недостатком - необходимостью достижения равновесных условий, определяемых скомпенсированностью диффузионного и седиментационного потоков. Время достижения равновесия, как и другие параметры диффузионной задачи, могут быть определены только на основании решения нестационарной задачи седиментации. Решить его стандартными методами математического анализа не представляется возможным. Поэтому решение осуществляли двумя различными методами. Для прямоугольной системы координат получено нелинейное уравнение седиментации расплава путем подчинения полного диффузионного потока условию непрерывности:

$$\frac{\partial u}{\partial F_0} = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - S(x+n)\frac{\partial u}{\partial x} - Su \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} = S(x+n)u \Big|_{x=1}^{x=0}; \quad u(x) \Big|_{F_0=0} = 1 \quad (2)$$

$$u = \frac{C_V}{C_{V_0}}; \quad S = \beta \frac{V(\rho - \rho_0)}{kT} \omega^2 N_2^2; \quad F_2 = \frac{D\tau}{N_2^2}; \quad x = \frac{X}{N_2}; \quad n = \frac{N_1}{N_2} \quad (3)$$

$C_{V_0}$ ,  $C_V$  - начальное и текущее значение объёмной концентрации;  $V$  - объём кластеров;  $\rho$ ,  $\rho_0$  - плотности кластеров и среды;  $\omega$  - угловая скорость;  $\beta$  - доля ато-

мов, принимающая участие в образовании кластеров;  $k$  - постоянная Больцмана;  $D$  - коэффициент диффузии;  $\tau$  - время центрифугирования;  $T$  - температура расплава;  $N_1$  - расстояние от внутренней границы вращения расплава до оси вращения;  $N_2$  - расстояние от внешней границы вращения расплава до оси вращения;  $X$  - расстояние от внутренней границы вращения расплава до исследуемой точки.

С учётом цилиндрической поверхности реторты с расплавом использовано уравнение диффузии в подвижной среде, которое имеет вид:

$$\frac{\partial u}{\partial F_0} + S \frac{\partial}{\partial x}(xu) = \frac{1}{x} \frac{\partial}{\partial x} \left( x \frac{\partial u}{\partial x} \right) \quad (4)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} = xSu \Big|_{\substack{x=n \\ x=1}}; \quad u(x) \Big|_{F_0=0} = 1 \quad (5)$$

Аналитическое решение уравнения (1) получено методом формального параметра с применением конечных интегральных преобразований. Установлено, что для расчёта размера кластеров достаточным является использование решения нулевого приближения задачи (1):

$$u \approx \sum_{\gamma_1, \gamma_2}^{\infty} u_1 \Big|_{F_0=0}^{-0} \bar{K}_{\gamma_1} e^{-F_0 \lambda_{\gamma_1}^2} + u_2 \Big|_{F_0=0}^{-0} \bar{K}_{\gamma_2} e^{-F_0 \lambda_{\gamma_2}^2} \quad (6)$$

$$\bar{K}_{\gamma_1} = \left( R_1 + \frac{Sn}{2} \right) e^{r_1 x} - \left( R_2 - \frac{Sn}{2} \right) \cdot e^{r_2 x} \quad (7)$$

$$\bar{K}_{\gamma_2} = e^{\frac{Sn}{2}} \left( R_2 \cos R_2 x + \frac{Sn}{2} \sin R_2 x \right) \quad (8)$$

где  $u_1 \Big|_{F_0=0}^{-0}$ ,  $u_2 \Big|_{F_0=0}^{-0}$ ;  $R_1$ ;  $R_2$ ;  $r_1$ ;  $r_2$ ;  $\lambda_1$ ;  $\lambda_2$  - коэффициенты и собственные числа задачи, определяемые интегральными преобразованиями.

Решение уравнения (3) вблизи внутренней границы получено методом интегральной кривой Pohlhausen и Hills. Изменение концентрации по толщине расплава, заданное в виде параболы:

$$u = \alpha_0 + \alpha_1 x^2; \quad n < x < x_0; \quad u \Big|_{x=0} = 1, \quad x_0 \Big|_{F_0=0} = n, \quad (9)$$

описывается трансцендентным уравнением:

$$u \Big|_{x=n} = \left[ \left( \frac{\left( Sn^2 - \frac{5}{2} \right) u + \frac{3}{2}}{Sn^2 - 1} \right)^{K_1} \exp(-3SF_0) \right]; \quad K_1 = 1 + \frac{3}{5 - 2Sn^2} \quad (10)$$

На основании расчётных концентрационных характеристик  $u=f(S)$  и экспериментальных результатов по перераспределению  $Si$  в расплаве в зависимости от ус-

ловий проведения опытов ( $\omega$ ,  $C_{V_0}$ ,  $T$ ) определяли параметр  $S$ , связанный с  $d_{Si}$  соотношением:

$$d_{Si} = \sqrt{\frac{6kTS}{\beta\pi\omega^2(\rho - \rho_0)N_2^2}}, \quad (11)$$

Выражение (1) позволяет рассчитывать размеры кластеров, не зависимо от степени достижения в системе условий равновесия. Результаты приведены в таблице.

Размер кластеров кремния в алюминиево-кремниевых расплавах, нм

Сплав	Температура, °C				
	60 0	650	750	85 0	10 50
Al – 6,5 % Si	-	35	30	23	16
Al – 12,5 % Si	20	17	14	12	7

Данные о размерах кластеров Si хорошо согласуются с результатами, полученными методом высокоскоростного охлаждения ( $V_{охл.} > 10^5$  °C/с) из жидкого состояния.

УДК 621.74, 620.179.1.05–2

**И.В. Рафальский**

Белорусский национальный технический университет, Минск

## **ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ ПРОИЗВОДСТВА ЛИТЫХ ИЗДЕЛИЙ**

Совершенствование металлургических процессов производства литых изделий из сплавов черных и цветных металлов сопровождается значительным увеличением объемов и сложности потоков данных, подлежащих непрерывному контролю. Решение этой задачи требует применения методов и средств оперативной обработки информации, позволяющих максимально снизить риски появления ошибок, связанных с управлением технологическими процессами.

Основой качественного изменения процессов автоматизации контроля и управления технических объектов в металлургическом производстве является применение интеллектуальных информационных систем и технологий (ИИСТ). Благодаря