

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАНОЧАСТИЦ В РАСПЛАВЕ МЕТАЛЛА

М.Г. Хмелева, Л.Л. Миньков

Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. А.Б. Ворожцов

Национальный исследовательский Томский государственный университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: khmelmg@gmail.com

PREDICT THE DISTRIBUTION OF NANOPARTICLES IN MOLTEN METAL

M.G. Khmeleva, L.L. Minkov

Scientific Supervisor: Prof., Dr. A.B. Vorozhtsov

Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: khmelmg@gmail.com

***Abstract.** In the present study the results of mathematical modeling of the process of introducing particles into an aluminum melt using the mixing device. A pattern of the distribution of these particles in the melt is obtained.*

Введение. В настоящее время отмечается значительный интерес к расширению области применения алюминиевых сплавов [1-3]. В этой связи поиск путей повышения комплекса их механических и функциональных свойств является важным, как с точки зрения фундаментальной науки, так и с позиций разработки новых материалов на основе алюминия.

Модифицирование различными наночастицами является наиболее распространенным способом управления структурой и свойствами алюминиевых сплавов [4,5]. При этом варьируемыми параметрами могут быть количество, размер, морфология вводимых наночастиц, время выдержки расплава после модифицирования. Для введения и равномерного распределения наночастиц в расплаве металла применяют специально разработанное перемешивающее устройство [6]. Также это устройство за счет воздействия вибрации на расплав используется для освобождения расплавов металлов от растворенных в них газов, которые являются причиной брака отливок (газовая пористость).

Таким образом, при модифицировании сплава различными наночастицами необходимо уметь предсказать поведение этих наночастиц в расплаве металла. Целью настоящей работы является - методами численного моделирования выявить особенности и закономерности поведения наночастиц в расплаве металла, содержащемся в тигле, под воздействием перемешивающего устройства.

Постановка задачи. В физической постановке задачи рассматривается тигель цилиндрической формы, в который помещается перемешивающее устройство [6]. За основу описания физического процесса принята модель, содержащая следующие допущения: жидкость несжимаемая, процесс перемешивания – нестационарный, изотермический и турбулентный, течение – закрученное. Для описания положения границы жидкий металл – воздух используется модель VOF, для описания турбулентного течения принята классическая k-ε модель. Система основных уравнений, описывающих процесс турбулентного течения расплавленного металла в перемешивающем устройстве [7], дополнена уравнением изменения положения и скорости частиц в рамках концепции «модель дискретных частиц» [8].

Алгоритм решения задачи строится следующим образом: сначала решается задача об установлении поля течения жидкого металла в перемешивающем устройстве, затем рассматривается эволюция наночастиц модификатора, помещенных между дисками завихрителя.

Результаты. На рисунке 1 показано изменение положения частиц модификатора размером 1 мкм в расплавленном металле с течением времени. Цвет частиц соответствует расстоянию частиц от оси вращения в начальный момент времени. Синий цвет соответствует частицам, расположенным вблизи оси вращения, красный цвет – частицам на периферии завихрителя, а зеленый и желтый – в промежуточной зоне, рисунок 1а. Поле течения расплавленного металла увлекает частицы из междискового пространства завихрителя на периферию тигля, рисунок 1б. К моменту времени 5 с, частицы модификатора равномерно распределены по расплавленному металлу, за исключением области, находящейся в приосевой зоне под завихрителем.

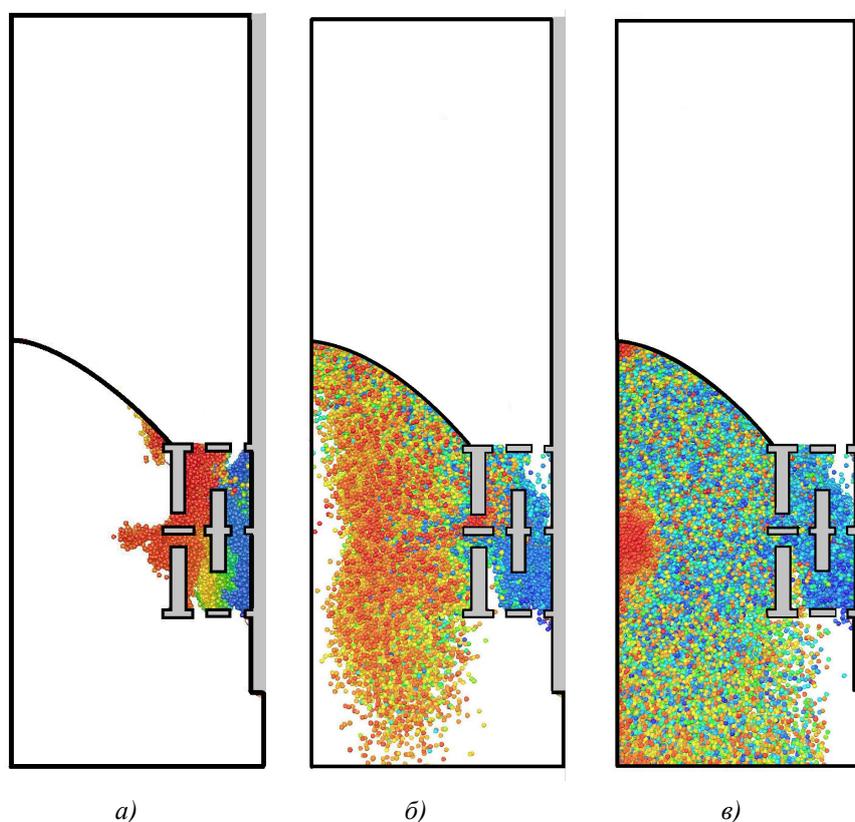


Рис. 1. Изменение положения частиц со временем.

$a - t = 0.1 \text{ с}$, $б - t = 1 \text{ с}$, $в - t = 5 \text{ с}$,

Заключение. Результаты численного моделирования демонстрируют распределение наночастиц в расплаве металла и могут служить эффективным инструментом для принятия решений при модифицировании алюминиевых сплавов.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 17-13-01252).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Davis J.R. (2001) Alloying: Understanding the Basics, pp. 351–416.
2. Miller W.S., Zhuang L., Bottema J., Wittebrood A.J., Smet P. De, Haszler A., Vieregge A. (2000) Recent development in aluminium alloys for the automotive industry. *Materials Science and Engineering A280*, pp. 37–49.
3. Robles-Hernandez F.C., Ramírez J.M.H., Mackay R. (2017). Al-Si Alloys, Minor, Major, and Impurity Elements, *Al-Si Alloys*, pp. 1–15.
4. Vorozhtsov S., Minkov L., Dammer V., Khrustalyov A., Zhukov I., Promakhov V., Vorozhtsov A. and Khmeleva M. (2017). Ex Situ Introduction and Distribution of Nonmetallic Particles in Aluminum Melt: Modeling and Experiment. *JOM*, Vol. 69, No. 12.
5. Сакович Г.В., Ворожцов С.А., Ворожцов А.Б., Потекаев А.И., Кульков С.Н. Физико-механические свойства композитов и легких сплавов, упрочненных детонационными наноалмазами // *Известия ВУЗов. Физика*. – 2016. – Т. 59, № 3. – С. 104-109.
6. Пат. 2625471 РФ, МПК В01F 7/18, В01F 7/26. Устройство для смешивания жидкостей и порошков с жидкостью / А.Б. Ворожцов, В.А. Архипов, Э.Р. Шрагер, В.Х. Даммер, С.А. Ворожцов, М.Г. Хмелева; опубл. 14.07.2017, Бюл. № 20.
7. Хмелева М.Г., Даммер В.Х., Тохметова А.Б., Миньков Л.Л. Численное моделирование вихреобразования в жидком металле под действием дискового завихрителя // *Вестник Томского государственного университета. Математика и механика*. – 2017. – № 46.– С. 76-85.
8. Manninen M. On the mixture model for multiphase flow. *VTT Publications 288* / M. Manninen, V. Taivassalo, S. Kallio. Technical Research Centre of Finland, Espoo, 1996.