

УДК 537.84

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПРОЦЕССА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ В ПЛОСКОМ СЛОЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОЙ ЖИДКОСТИ И ВИХРЕВОГО ТЕЧЕНИЯ, ГЕНЕРИРУЕМОГО ПЕРЕМЕННЫМ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

© 2011 г.

И.В. Колесниченко¹, П.А. Оборин²

¹Институт механики сплошных сред УрО РАН, Пермь

²Пермский госуниверситет

kiv@icmm.ru

Поступила в редакцию 16.05.2011

Исследуется течение и процесс кристаллизации в тонком слое жидкого металла. Металл содержится в прямоугольном канале. Две противоположные стенки канала являются теплообменниками, другие стенки теплоизолированные. В канал наливается жидкий галлиевый сплав. В неизотермическом случае при охлаждении одной из сторон слоя галлиевого сплава до температуры ниже температуры плавления вблизи этой стенки начинается процесс кристаллизации слоя, при этом фронт кристаллизации будет перемещаться в плоскости слоя. Цель настоящей работы – исследование процесса кристаллизации в слое жидкого металла при наличии вихревого течения. Исследование проводится с помощью ультразвукового доплеровского анемометра, которым измеряются профили скорости течения и определяется граница кристаллизации по профилю уровня эхо. Получены характеристики хода процесса для различных параметров.

Ключевые слова: кристаллизация, непрерывное литье, перемешивание затвердевающего металла, ультразвуковой доплеровский анемометр.

Многие технологические процессы (производство непрерывных слитков, изготовление специальных сплавов) сопровождаются кристаллизацией металла из жидкой фазы. Кристаллизация будет происходить неравномерно, с образованием дендритов, что укрупняет зерно металла и ухудшает его свойства. Если при этом производить электромагнитное перемешивание металла в плоскости слоя, то это приводит к ломке дендритов, выравниванию фронта кристаллизации, гомогенизации примесей в случае их наличия [1]. Существуют различные способы генерации электромагнитных сил и течения в таких слоях. Рассматривается один из способов, заключающийся в том, что слой помещается в зазор электромагнита. Слой пронизывается переменным магнитным полем. Это приводит к генерации вихревого тока в слое и электромагнитных сил. Вследствие действия этих сил в слое возникает вихревое течение, интенсивностью и конфигурацией которого можно легко управлять [2]. Цель настоящей работы – исследование процесса кристаллизации в слое жидкого металла при наличии вихревого течения.

Лабораторная модель (схема и фото показаны на рис. 1) представляет собой прямоугольную кювету 1, выполненную из плексигласа.

Две противоположные стенки кюветы – полые медные электроды 2, по которым пропускается теплоноситель от термостатов 4.

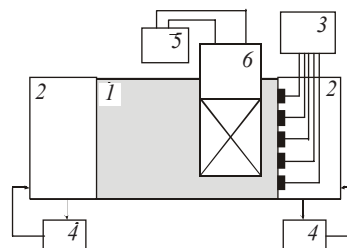


Рис. 1

Две другие стенки, а также дно кюветы теплоизолированные. В ходе эксперимента в кювету наливался жидкий галлиевый сплав. В установке есть возможность с помощью индуктора 6, питаемого от трансформатора 5, создать в слое электромагнитную силу и осуществлять

перемешивающее течение. В неизотермическом случае при охлаждении одной из сторон слоя галлиевого сплава до температуры ниже температуры плавления вблизи этой стенки начинается процесс кристаллизации слоя, при этом фронт кристаллизации будет распространяться в плоскости слоя.

Изучение процесса роста границы фронта кристаллизации осуществлялось с помощью ультразвукового доплеровского анемометра (УДА). Основные его достоинства заключаются в применении бесконтактного способа измерения, значительном пространственно-временном разрешении и высокой чувствительности. Прибор УДА DOP 2000 фирмы Signal Processing позволяют проводить измерения скоростей вплоть до 0.01 мм/с, что допускает его использование для разносторонних исследований жидкостных потоков [3].

Исследовался плоский слой жидкости толщиной 10 мм. В плане слой ограничен стенками и имеет длину 200 мм, ширину 100 мм. Две противоположные короткие стенки являются изотермическими. Пять датчиков располагались со стороны горячей стенки. Датчик анемометра испускает ультразвуковую волну определенной частоты, которая, попадая на границу жидкой и твердой фазы, отражается от твердой фазы обратно. С помощью интенсивности уровня эхо-сигнала можно определить положение границы раздела фаз. За время эксперимента на холодной стенке кристаллизовался слой твердой фазы, толщина которого сверху была немного больше, чем снизу, и составляла около 5 см. Положение границы раздела фаз также определялось путем фотографирования цифровым фотоаппаратом с последующей обработкой фотографий. По результатам эксперимента для случая отсутствия перемешивающего течения получен график зависимости роста границы фронта кристаллизации от времени для пяти равноудаленных точек (рис. 2).

На графике точки – измерения с помощью УДА, сплошные линии – измерения по фотографиям.

Максимальная погрешность определения границы фронта кристаллизации с помощью УДА в данном эксперименте составила 10 мм. Для случая воздействия перемешивающего течения обнаружено, что форма границы раздела твердой и жидкой фаз изменяется в соответ-

ствии с конфигурацией вихревого течения. На рис. 3 изображены границы фронта кристаллизации: *а* – в случае отсутствия и *б* – при наличии перемешивающего слоя.

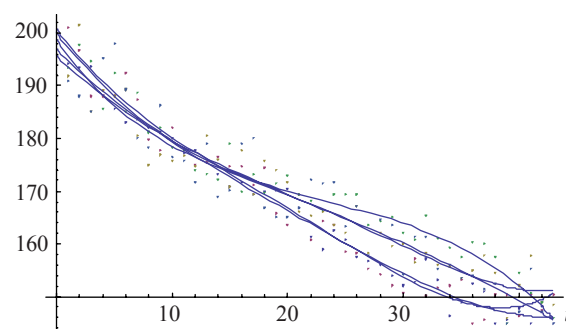


Рис. 2

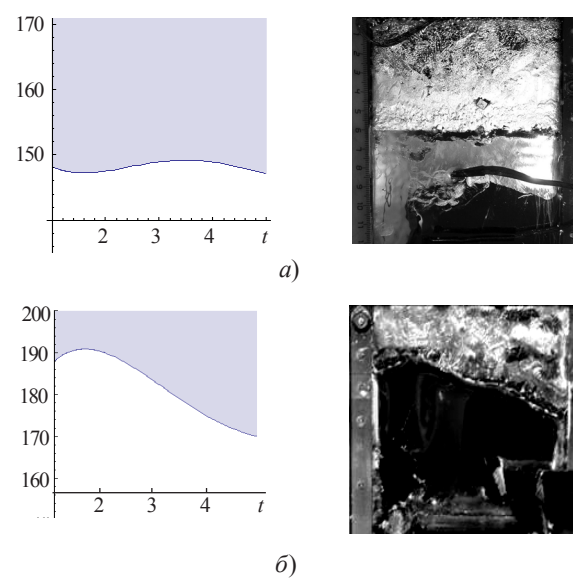


Рис. 3

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант №10-08-96048-р_урал_а.

Список литературы

1. Зеленецкий А.Б., Хрипченко С.Ю., Цаплин А.И. Моделирование кристаллизации металла в плоском слое при электромагнитном перемешивании // Магнитная гидродинамика. 1992. №1. С. 96–100.
2. Kolesnichenko I., Khalilov R., Khripchenko S. Vertical flow of conducting fluid driven by an alternating magnetic field in a plane channel // Magnetohydrodynamics. 2007. Vol. 43, No 1. P. 45–52.
3. Kolesnichenko I. et al. Flow in a square layer of conducting liquid // Magnetohydrodynamics. 2005. Vol. 41, No 1. P. 39–51.

**INTERACTION BETWEEN THE PROCESS OF CRYSTALLIZATION IN A PLANE LAYER
OF CONDUCTING FLUID AND A VORTEX FLOW GENERATED BY A VARYING MAGNETIC FIELD***I.V. Kolesnichenko, P.A. Oborin*

The flow and crystallization processes in a thin layer of liquid metal are investigated. The laboratory model used in the experiments is constructed in the form of a rectangular cuvette, in which two opposite walls are made of acrylic plastic and the other two walls represent brass heat exchangers. The plexiglass walls and the bottom of the cuvette are thermally insulated. The cuvette is filled with liquid gallium alloy. In the isothermal case, cooling of the layer at one of its sides to a temperature lower than the melting point of the alloy triggers the process of layer crystallization near the cooled wall, which proceeds in such a way that the crystallization front propagates in the layer plane. The purpose of this work is to study the process of crystallization in the layer of liquid metal in the presence of a vortex flow and to determine the optimal conditions of effective metal stirring. The investigation was carried out with the ultrasonic Doppler anemometer, which was used to measure the flow velocity profiles and to determine the crystallization boundary from the echo profiles. The characteristics of the process evolution for various parameters were obtained.

Keywords: crystallization, continuous casting, mixing of melting metal, ultrasonic Doppler anemometer.