

# ВЛИЯНИЕ СХЕМЫ СОЕДИНЕНИЯ ОБМОТОК ИНДУКТОРА НА КРИСТАЛЛИЗАЦИЮ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО РАСПЛАВА

Сидоров О.Ю., Сарапулов Ф.Н.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия,  
[sidorov-ou-62@yandex.ru](mailto:sidorov-ou-62@yandex.ru)

Уральский федеральный университет им. Первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург,  
Россия, [sarapulovfn@yandex.ru](mailto:sarapulovfn@yandex.ru)

**Аннотация:** Проведены расчеты электромагнитного, гидродинамического и температурного полей кристаллизующегося слитка. Получена полная картина динамики кристаллизации. Вычислены скорости кристаллизации в различных слоях металлического расплава. Выявлена взаимосвязь между схемой соединения обмоток индуктора кристаллизатора и скоростью затвердевания металлического расплава.

**Ключевые слова:** Электромагнитное поле, гидродинамическое поле, температурное поле, кристаллизация, скорость кристаллизации.

**Abstract:** The calculations of the electromagnetic, hydrodynamic and temperature fields crystallized melt with diameter 163 mm. Obtained full picture of the dynamics of crystallization. Calculated speed of crystallization of the different layers of the metal melt.

**Key words:** Electromagnetic field, hydrodynamic field, temperature field, crystallization, speed of crystallization.

Применение бесконтактного электромагнитного воздействия на кристаллизующийся металлический расплав позволяет получить металлическую заготовку с повышенными механическими характеристиками. Это выражается в измельчении зерна, выравниванию химического состава по объему слитка. Как известно (см., например, [1]), величина зерна связана с локальной скоростью охлаждения.

В исследовании ставятся следующие задачи:

- 1) Моделирование процесса кристаллизации металлического расплава в электромагнитном внешнем поле, что предполагает:
  - расчет электромагнитного поля;
  - расчет гидродинамического поля;
  - расчет температурного поля.
- 2) Получение картины кристаллизации в динамике и определение локальных скоростей кристаллизации.
- 3) По результатам моделирования сделать вывод о влиянии конфигурации электромагнитного поля на картину кристаллизации металлического расплава.

В качестве объекта исследования рассмотрен электромагнитный кристаллизатор для литья латуни Л63 в виде цилиндрической заготовки диаметром 163 мм [2].

Катушки обмотки были выполнены из медной ленты  $23 \times 0,98$  мм, что позволило повысить коэффициент заполнения паза медью по сравнению с лабораторными моделями и полупромышленными образцами (с  $\kappa_m = 0,46$  до  $\kappa_m = 0,57$ ). Число витков в катушке  $N = 55$ .

Рассмотрены следующие схемы соединения обмоток:

1. AZBXC YAZBXC Y (плотность тока:  $3 \text{ А/мм}^2$ );
2. AAZZBBXXCCYY (плотность тока:  $3 \text{ А/мм}^2$ );
3. А Х (плотность тока в фазе А:  $9 \text{ А/мм}^2$ ).

Частота тока 50 Гц. Жидкий металл кристаллизуется в водоохлаждаемой гильзе. Другие характеристики электромагнитного кристаллизатора описаны в [2].

Для решения поставленных задач проводилось решение полевых задач:

- Расчет электромагнитного поля;
- Расчет гидродинамического поля;
- Расчет температурного поля.

Применялась цилиндрическая система координат и предполагалось наличие цилиндрической симметрии. Особенности решения отдельных полевых задач рассмотрены в монографии [3].

Спецификой одновременного решения указанных выше полевых задач является их различные постоянные времени. Например, установление электромагнитных процессов происходит в пределах долей секунды, гидродинамического поля – секунды или десятки секунд, температурного поля – минуты, часы. В данном случае в процессе моделирования были приняты следующие положения:

- 1) В динамике рассматривается только изменение температуры.
- 2) Для каждого поля температур (для заданного момента времени) электромагнитное и гидродинамическое поля являются установившимися, но пересчитывается с целью учета появляющейся твердой фазы в расплаве.
- 3) Для расчета гидродинамического поля используется установившееся электромагнитное поле, вычисленное с учетом движения металлического расплава слитка.





начальный период кристаллизации, а затем практически совпадают.

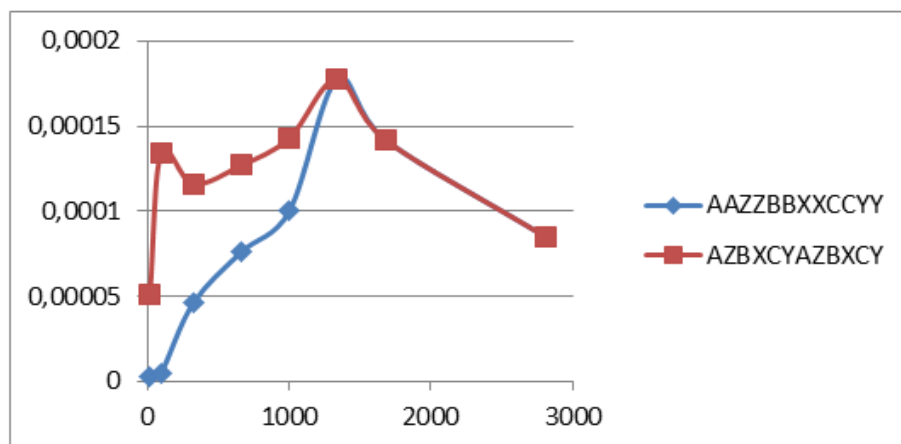


Рис.3. Зависимости скоростей кристаллизации (ось ординат, кг/с) от времени (ось абсцисс, с) для слоя 10 на середине металлического слитка. Нумерация слоев начинается от оси симметрии. Наиболее близок к кристаллизатору 10-й слой ( $r=81,5$  мм)

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В результате математического моделирования получена картина динамики кристаллизации слитка диаметром 163 мм в электромагнитном водоохлаждаемом кристаллизаторе при различных схемах соединения фазной обмотки.

2. Исследования показали взаимосвязь между расчетной скоростью охлаждения и схемой соединения фазных обмоток.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вайнгард У. Введение в физику кристаллизации металлов. – М.: Мир, 1967. 167 с.

2. Сарапулов С.Ф., Сокунов Б.А., Фризен В.Э. Индукционный перемешиватель алюминиевых сплавов в процессе кристаллизации // В 38 Вестник УГТУ-УПИ. Электромеханические и электромагнитные преобразователи энергии и управляемые электромеханические системы: Сборник статей. Ч 2: Специальные электрические машины и электромагнитные устройства. Вопросы энергосбережения. Образовательные проекты. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2003. № 5 (25). С.171-174

3. Сидоров О.Ю., Сарапулов Ф.Н., Сарапулов С.Ф. Метод конечных элементов и конечных разностей в электромеханике и электротехнологии. – М.: Энергоатомиздат, 2010. 331 с.