

ОТЗЫВ

Официального оппонента доктора технических наук, профессора
Сарапулова Сергея Федоровича
на диссертацию Горемыкина Виталия Андреевича

«Численное и физическое моделирование электромагнитного лотка для транспортировки расплавов алюминия», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.01 – «Электромеханика и электрические аппараты»

Актуальность темы

Автоматизация современных предприятий по производству алюминиевых сплавов является одним из важнейших факторов повышения качества и конкурентоспособности отечественной продукции. Из всей технологической цепочки наименьшую степень автоматизации имеет этап по транспортировке расплава из печи (миксера) в литейную машину. В первую очередь это связано с высокими капитальными затратами на приобретение новой поворотной печи с мощными гидравлическими цилиндрами или на модернизацию действующих печей.

Указанную задачу могут успешно решить электромагнитные лотки. Они позволяют выполнять плавное регулирование расхода расплава и поддерживать тем самым стабильный уровень его в литейной машине. При отключении индуктора расплав стекает обратно в печь, тем самым обеспечивая безопасность эксплуатирующего персонала. Такие установки могут быть установлены на действующих печах без существенных изменений металлоконструкции и футеровки.

Широкому распространению электромагнитных лотков мешает низкая надежность канальной части, которая вызвана малой толщиной огнеупора между индуктором и расплавом (до 80 мм). Поэтому актуальной является задача проведения численного и физического моделирования с целью разработки индуктора для работы при увеличенном слое огнеупора (до 200 мм) с сохранением высокой эффективности.

Степень обоснованности научных предположений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, можно считать достаточной, т.к. они базируются на адекватном описании электромагнитных и гидродинамических процессов системы «индуктор-канал» в связанной постановке, решениях с использованием метода конечных элементов и теории электрических цепей, а также результатах натуральных измерений.

Структура и объем диссертации соответствуют требованиям, предъявляемым к работам на соискание ученой степени кандидата технических наук.

В первой главе представлены ключевые понятия и основополагающие физические явления, которые лежат в основе концепции электромагнитного лотка. Следует отметить широкий обзор патентных материалов и современных способов транспортировки расплавов. В результате сформулирована цель диссертационного исследования и намечены пути ее решения.

Во второй главе рассмотрены вопросы построения параметрических численных моделей системы «индуктор-канал» с учетом взаимодействия магнитного поля индуктора и движущегося расплава. Диссертантом предложен алгоритм итерационного обмена данными между модулем расчета электромагнитного и гидродинамического полей. Учет влияния скоростей расплава выполнен с дискретизацией элемента сетки.

На основе проведенных расчетов получены количественные дифференциальные и интегральные зависимости, которые позволили оценить влияние геометрических параметров канала на эффективность перекачивания расплава, а также выявить закономерности формирования профилей скоростей с учетом угла наклона канала.

Автором предложена концепция модификации конструкции индуктора с обмотками вокруг ярма и переходом к круглому сечению ярма. Такая конструкция дает преимущества при оптимизации конструктивных параметров индуктора электромагнитного лотка.

Оценка адекватности полученных результатов и выводов рассмотрена в третьей главе.

В третьей главе представлены результаты натурных испытаний масштабной натурной модели ЛИМ62 с эвтектикой в качестве имитации расплава алюминия и полноразмерным опытно-промышленным образцом ЛИМ200 с твердометаллическим рабочим телом. Исследования образцов выполнены с применением современных средств автоматизации измерений, методов статистики и регрессионного анализа. На основе результатов экспериментальных исследований дана оценка адекватности расчетов с применением численных методов. Для твердого рабочего тела погрешность вычислений составила не более 15%, а для жидкометаллического рабочего тела – до 25%. Для уменьшения погрешности предложено улучшить дискретизацию численных моделей и исключить некоторые допущения. В целом следует отметить положительный эффект от применения

комбинированных алгоритмов численного анализа применительно к электромагнитному лотку.

Основные результаты диссертационной работы заключаются в следующем:

1. Обоснована возможность повышения эффективности и надежности функционирования электромагнитного лотка при переходе к слоям огнеупора от 50 мм к 200 мм между индуктором и расплавом. Применительно к таким условиям работы выдвинута, а затем экспериментально доказана гипотеза об эффективности использования малополюсной конструкции индуктора.

2. Получены интегральные зависимости, которые подтверждают эффективность применения ферромагнитного пассивного сердечника в качестве верхней крышки канала.

3. Уточнено известное выражение для определения глубины проникновения магнитного поля в расплав с учетом величины немагнитного зазора. Сформулировано условие для определения эффективной глубины проникновения.

4. Разработан алгоритм для взаимосвязанного учета электромагнитных и гидродинамических процессов в системе «индуктор-канал». Алгоритм может быть использован при анализе любых индукционных устройств с жидкометаллическим рабочим телом. В результате удалось снизить погрешность расчетов до 30%.

5. Предложена новая концепция использования круглого сечения ярма магнитопровода при проектировании индукторов электромагнитного лотка. Концепция реализована в виде опытно-промышленного образца ЛИМ200 и промышленных образцов ЛИМ380 и 550.

6. Подтверждена удовлетворительная сходимость результатов численного и натурного моделирования на модели ЛИМ62 с жидкометаллическим рабочим телом. Погрешность не превысила 25%.

7. Предложен алгоритм для расчета несимметричных трехфазных схем замещения на основе дискретных моделей взаимных индуктивностей, который позволяет учесть топологию расположения катушек на ярме магнитопровода и схему их коммутаций.

8. Получены характеристики на основе натуральных исследований опытных образцов, которые позволили оценить влияние схем коммутации катушек индуктора и режимов электропитания на эффективность транспортировки расплава.

Научная новизна заключается в следующем:

1. Предложен подход к расчету и построению несимметричных электрических схем замещения ЭМЛ в трехфазном представлении на основе взаимных индуктивностей, выполнен анализ возможных схем электропитания, подтверждена работоспособность ЛИМ при схеме соединения обмоток AZBXCY и схеме электропитания «треугольник»;

2. Обоснована теоретически и экспериментально подтверждена работоспособность конструкции плоской ЛИМ для ЭМЛ с количеством полюсов $2p=2$ на активную длину машины при работе с зазором 200 мм;

3. Получены новые количественные закономерности изменения интегральных и дифференциальных параметров ЭМЛ с учетом поля скоростей в канальной части и стартовых условий работы;

4. Разработан универсальный комбинированный алгоритм взаимосвязанного анализа электромагнитного и гидродинамического полей в системе «индуктор-канал» в трехмерной постановке с учетом распределённого поля скоростей для поддержки комплексного проектирования ЭМЛ.

Достоверность результатов диссертационной работы обоснована корректным использованием математического аппарата и законов электромеханики; сходимостью результатов численного моделирования и натурных исследований на основе масштабных образцов электромагнитного лотка.

В публикациях автора достаточно полно отражены основные научные результаты данной диссертационной работы.

Практическая ценность результатов работы подтверждена успешным применением их при проектировании опытно-промышленных и серийных образцов ЛИМ для силового воздействия на алюминиевые расплавы (марки ЛИМ200, ЛИМ380 и ЛИМ550), в частности на ОАО «Красноярский металлургический завод» и ОАО «РУСАЛ-Красноярск».

Замечания по диссертационной работе Горемыкина В.А. следующие:

1. Требуется пояснение исполнения обмотки индуктора электромагнитного лотка, а также ее изоляции и типа охлаждения индуктора.
2. Автору следовало бы более подробно охарактеризовать особенности конструкции магнитопровода индуктора, расположенного в непосредственной близости от расплавленного металла, влияющего на его магнитные свойства. До какой температуры нагревается магнитопровод при длительном режиме работы?
3. Автору было бы полезно более подробно пояснить, какая модель использовалась при моделировании гидродинамических процессов, какие вычислительные и временные ресурсы требуются для решения

связанных электромагнитной и гидродинамической задач в трехмерной постановке.

4. Имеются некоторые немногочисленные замечания по орфографии и стилистическим неточностям.

Заключение

Диссертационная работа Горемыкина В.А. «Численное и физическое моделирование электромагнитного лотка для транспортировки расплавов алюминия» является законченной научно-квалификационной работой и выполнена на высоком научном уровне. Ее результаты представляют значительный интерес в данной технической области. В работе решена комплексная задача, которая имеет важное значение для развития теоретических и практических аспектов разработки индукционных устройств для транспортировки и дозирования расплавов.

Автореферат полностью отражает основное содержание диссертации.

Замечания к диссертационной работе не влияют на положительную оценку диссертационной работы.

Диссертационная работа удовлетворяет требованиям ВАК п.9 «Положение о присуждении ученых степеней», предъявляемым ВАК России к кандидатским диссертациям. Автор Горемыкин Виталий Андреевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.01 – «Электромеханика и электрические аппараты» .

Официальный оппонент:

Профессор, доктор технических наук
(05.09.01 – «Электромеханика и электрические аппараты»), директор
Уральского энергетического
института ФГАОУ ВПО «Уральский
федеральный университет имени
первого Президента России Б.Н.
Ельцина»

620002, Россия, г. Екатеринбург, ул.
Мира, 19

тел.: +7 (343) 375-44-74

Сарапулов
Сергей Федорович
01.02.2016 г.

Подпись Сарапулова Сергея Федоровича заверяю:

Ученый секретарь ФГАОУ ВПО

«Уральский федеральный университет

имени первого Президента

России Б.Н. Ельцина»



Корозова Вера Анатольевна