

ОТЗЫВ

официального оппонента Тимофеева Виктора Николаевича на диссертацию соискателя Швыдкого Евгения Леонидовича на тему «Исследование гидродинамических процессов в жидкометаллическом вторичном элементе индукционных МГД машин», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.01 – Электромеханика и электрические аппараты

Актуальность темы диссертации

Металлургия является основой для многих отраслей. От качества металлов и сплавов на их основе зависят характеристики продукции машиностроения, транспорта, строительства и других отраслей. Все стадии технологического процесса приготовления и литья сплавов определяют свойства конечной продукции. Все большее применение в плавильно – литейном производстве находят различные магнитогидродинамические (МГДП) машины с бегущим магнитным полем. Так крупнейший производитель алюминиевых сплавов в России компания РУСАЛ на всех новых заводах (Саянский, Богучанский, Тайшетский алюминиевые заводы) вводили в эксплуатацию новые миксеры (объемом от 60 до 115 тонн) с обязательным оснащением их МГД перемешивателями. Воздействие на расплав бегущего магнитного поля приводит его в движение, выравнивает химический состав и температуру во всем объеме ванны миксера, сокращает время приготовления сплава и полностью автоматизирует процесс перемешивания.

Бегущее магнитное поле создается линейным индуктором с многофазной ($m=2,3$) обмоткой. Система индуктор – расплав представляет собой индукционную машину с жидкометаллическим рабочим телом. В плавильно-литейном производстве алюминиевых сплавов, кроме перемешивания расплава в миксерах индукционные машины применяются в процессах плавления, транспортировки, рафинирования и кристаллизации.

Глубокое понимание, связанных физических процессов в жидком металле необходимо как для проектирования МГД машин, так и для создания эффективных технологий получения металлических сплавов с заданными свойствами. Рецензируемая диссертационная работа посвящена тепло-и массообмену в жидкометаллическом вторичном элементе МГД машины при воздействии на него бегущего магнитного поля с различными пространственными и временными характеристиками, в связи с этим является актуальной.

Диссертация изложена на 181 странице из них 160 страниц текста, включая 87 рисунков и 178 наименований источников, состоит из введения, обзора литературы, 3 глав, заключения и библиографии.

Новизна и достоверность основных выводов и результатов работы.

В диссертации получены следующие новые научные результаты.

1. На основе методов конечных элементов и объемов в коммерческих библиотеках ANSYS и COMSOL разработаны численные модели для трехмерного моделирования связанных электромагнитных и гидродинамических явлений с

учетом массо- и теплопереноса при перемешивании жидких металлов посредством бегущего магнитного поля.

2. Достоверность представленных моделей подтверждена путем сравнения результатов математического моделирования с экспериментальными измерениями электромагнитных, гидродинамических характеристик и границ раздела твердой и жидкой фаз, с использованием Доплеровского измерителя скорости и методов нейтронной радиографии.

3. Получены зависимости процессов тепло – и массообмена в жидком металле под действием бегущих магнитных полей с различными временными и пространственными параметрами и использованием различных моделей турбулентности.

4. Систематизированный в соответствие с темой диссертационной работы обзор публикаций европейских и российских исследователей является полезным материалом для решения теоретических и прикладных вопросов магнитной гидродинамики в металлургии.

Ценность для науки и практики

Ценность проведенной диссертационной работы для науки и практики состоит в разработке численных моделей гидродинамических течений жидкого металла под воздействием бегущего магнитного поля, позволяющие получить зависимости электромагнитных и гидродинамических характеристик от временных и пространственных параметров БМП, оценить процессы тепло-и массообмена в жидком металле в условиях кристаллизации, а также в сформированных рекомендациях для проектирования индукционных МГД машин металлургического назначения.

Общая оценка диссертационной работы

Данная диссертационная работа выполнена на актуальную тему, направлена на создание численных моделей сложных МГД процессов в жидком металле под воздействием бегущего несинусоидального периодического магнитного поля.

В качестве замечаний по работе можно отметить следующие:

1. В задачах и выводах автор часто использует термин «эффективность перемешивания», однако не уточняет, что понимается под этим термином. В металлургии МГД – перемешивание расплава в миксерах направлено на устранение всяких неоднородностей в расплаве. Неоднородности разделяют на макроскопические и микроскопические, неясно, как влияют характеристики системы индуктор – ванна на устранение этих неоднородностей.

2. Отсутствие учета проводимости частиц может являться причиной достаточно грубых ошибок при численном моделировании их движения. Более того, опубликован ряд работ, демонстрирующих эффект исключения немагнитных включений в проводящей жидкости, находящейся в переменном магнитном поле.

3. Что понимается под резонансной частотой жидкости? В этом контексте требуется дополнительное описание элементов колебательной системы, а также свойств и характеристик объема жидкости, определяющих эту резонансную частоту. Также, требуется пояснение природы обратной полуволны, упомянутой в описании к рисунку 1.27-б.

4. В пояснении формулы 1.23 искажен физический смысл. Очевидно, в непроводящих областях $\gamma = 0$ и правая часть первого условия (for non-conductive domains) обращается 0.

5. В оформлении большинства иллюстраций работы отсутствует языковое единообразие, используются смешанные единицы измерения и понятия. Более того, в некоторых местах преувеличена значимость западных работ, например, аналитическое выражение 1.29 было представлено значительно ранее, чем в указанной работе, а понятие «drag force» (стр. 110) является вполне определенным термином «сила лобового сопротивления» или просто «лобовое сопротивление» применяемом в гидроаэродинамике, в том числе в отечественной литературе.

6. Начальная динамика распределения поля скоростей, представленная на рисунке 1.25, не согласуется с электромагнитными силами, объемное распределение которых фактически характеризует зоны ускорений. В частности, присутствие двух локальных зон ускорения, требует дополнительных пояснений.

Отмеченные недостатки не влияют на общую высокую оценку качества выполненной работы.

Заключение

Разработанные численные модели МГД процессов в металлическом расплаве под воздействием бегущего магнитного поля, сформулированные на основе результатов численного моделирования рекомендации по проектированию индукционных МГД-машин металлургического назначения представляют собой решение научной задачи, имеющей важное социальное значение.

Представленная диссертация «Исследование гидродинамических процессов в жидкометаллическом вторичном элементе индукционных МГД машины» полностью соответствует требованиям пункта п. 9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а её содержание соответствует паспорту специальности 05.09.01 – Электромеханика и электрические аппараты. Швыдкий Евгений Леонидович, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.09.01 – Электромеханика и электрические аппараты

Официальный оппонент,

Доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой
«Электротехнология и электротехника»

Сибирского федерального университета  Виктор Николаевич Тимофеев

23 сентября 2020г.

660074, г. Красноярск, ул. Академика Киренского, 5а, кв. 49,

e-mail: viktortim0807@mail.ru ; тел.+79029904894

