

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента на диссертационную работу

Портновой Ирины Васильевны

**"Повышение эффективности перемешивания металла в ванне  
путем совершенствования конструкции дуговой печи  
постоянного тока малой вместимости",**

представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – Metallургия черных, цветных и редких металлов

### **Актуальность темы диссертации**

Развитие электрометаллургических технологий и повышение требований к энергоэффективности современного производства приводит к необходимости решения как новых научно-инженерных задач, так и традиционных на новом уровне. Задача перемешивания жидкого металла относится к традиционным, и поскольку появляются новые конструкции электропечей и новые способы управления потоками жидкого металла в ванне печи, то развитие новых методов перемешивания, логичным образом, находится в русле общего направления развития электрометаллургии.

Часть предлагаемых автором методов, а именно связанная с кондукционным перемешиванием, идейно продолжает работы которые велись в СССР до 90-х годов, а часть, связанная с изменением токов и фаз является существенно новой и обусловлена мировым развитием электроники.

В настоящее время работы магнитной гидродинамике, связанные с электромагнитными технологиями перемешивания жидкого металла, ведутся во всем мире, особо можно отметить такие промышленно развитые страны как Франция, Австрия и Германия, причем темп этих работ нарастает. В России конференции по проблемам МГД в последнее время собираются не реже двух раз в год. Исходя из всего сказанного актуальность темы диссертации не вызывает сомнений.



### **Содержание диссертационной работы**

Работа изложена на 144 страницах, включает в себя введение, 4 главы, заключение, список сокращений и обозначений, список литературы из 136 наименований и 6 приложений.

Первая глава содержит аналитический обзор существующих методик перемешивания расплавов, при этом проанализированы как электромагнитные способы, которым посвящена диссертация, так и другие: химико-технологический, механический, газодинамический. Приведены конструкции современных сталеплавильных печей и описаны принципы их работы. Объяснена роль перемешивания в процессе выплавки стали и чугуна. В конце главы поставлены цели работы и сформулированы задачи исследования.

Во второй главе представлена модель плавления ферромарганца в жидкой стали и проведено численное моделирование распределения магнитного поля и объемных электромагнитных сил в ванне с токонесущим расплавом с учетом новых конструкций токоподводов предложенных автором. На основании полученных данных сделаны выводы о характере течения в ванне.

Третья глава посвящена экспериментальному исследованию течения токонесущего расплава в присутствии внешних и собственных магнитных полей. Приводится описание конструкций трех экспериментальных установок, методик проведения измерений и результаты измерений скоростей жидкости при различных положениях электродов и воздействии внешнего магнитного поля.

Четвертая глава содержит практические рекомендации по повышению эффективности электромагнитного перемешивания. Предложены методы повышения производительности дуговых печей путем регулировки параметров тока, пропускаемого через металл, а именно изменение величин тока проходящего через различные электроды, изменение частоты и фаз тока. Выполнен расчет экономической эффективности при реконструкции ДППТ путем использования токоподвода к подовому электроду в виде спирали Архимеда.

### **Новизна проведенных исследований и полученных результатов**

Новизна диссертационной работы заключается в разработке, теоретиче-



ском и экспериментальном обосновании, новых методов перемешивания жидкого металла. Приоритет разработок автора в данной области подтверждается патентами на изобретения.

К числу наиболее существенных результатов диссертации следует отнести следующее:

1. Разработана математическая модель плавления частиц примеси в жидкой стали.
2. Проведено исследование магнитных полей и электромагнитных сил действующих в объеме ванны во время плавки металла.
3. Создано три экспериментальных установки (две жидкометаллических и одна электролитическая) на которых имеется возможность изменять положение электродов и осуществлять воздействие на жидкость внешним магнитным полем.
4. Проведено измерение скоростей на поверхности расплава, при этом данные полученные на установке с полуцилиндрической геометрией позволяют сделать выводы о поле скорости в глубине плавильной ванны.
5. Исследовано влияние внешнего магнитного поля и получены скорости течения при различных вариантах подключения электродов.
6. Выработаны рекомендации по подключению и расположению электродов в плавильной ванне.
7. Проведены расчеты обосновывающие методику управления интенсивностью и направлением течения, за счет изменения токов и сдвига фаз между проходящими через электроды токами.

#### **Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов, рекомендаций и заключений**

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов, рекомендаций и заключений, полученных в диссертации, подтверждается корректным использованием современных математических методов.

Достоверность полученных результатов подтверждается также приведенными результатами натуральных экспериментов, апробацией основных ре-



зультатов на конференциях и семинарах, в опубликованных работах, патентах на изобретения и внедрением результатов в промышленность.

### **Значимость результатов, полученных в диссертации, для науки и практики**

Научная значимость результатов заключается в развитии методик моделирования поведения токонесущих расплавов в электрометаллургических агрегатах, создании модели плавления ферросплавов при их обтекании жидким металлом, получении новых экспериментальных данных по характеру течения жидкого металла.

Практическая значимость результатов заключается в непосредственной выработке рекомендаций по совершенствованию элементов конструкций электропечей с целью улучшения перемешивания жидкого металла в ванне ДППТ, в предложенном методе управления поведением расплава путем сдвига фаз между пульсирующими токами, проходящими через подовые электроды. При этом ясно просматриваются пути их дальнейшего развития.

Теоретические и практические разработки диссертанта, а именно техническое решение со спиральным токоподводом и перемещаемым ферромагнитным сердечником были использованы при разработке конструкторской документации на новую сталеплавильную печь в ООО "Энергомонтаж".

### **Замечания и вопросы по диссертационной работе**

Несмотря на общее положительное впечатление от диссертационной работы, которая логично структурирована и ясно изложена, имеется несколько вопросов и замечаний.

1. Во второй главе (параграф 2.1) представлена модель плавления шарообразного тела из ферромарганца в потоке жидкой стали, достоинством которой является простота и удобство для практического применения. Однако осталось непонятным как полученные результаты на модели согласуются с уже известными моделями плавления ферросплавов и с экспериментальными данными.
2. В параграфе 2.4 решается уравнение Лапласа для электрического потен-



циала, однако из работы осталось непонятным каким численным методом решалось это уравнение.

3. В параграфе 2.6 проведено моделирование электромагнитных сил действующих в объёме расплава, и на основе этого делаются выводы о характере электровихревых течений. При этом автор пренебрегает вторичными течениями, вызванными азимутальной закруткой металла вызванной влиянием вертикальной компоненты внешнего магнитного поля, а именно это поле создается спиральными системами перемешивания, рекомендуемыми автором.
4. В работе были получены интересные результаты экспериментальных исследований на физической модели с использованием раствора поваренной соли. Однако осталось непонятным можно ли их перенести на реальную дуговую печь постоянного тока, так как токи, проходящие через модельную ванну, были относительно небольшие (менее 5 А).
5. В тексте имеются незначительные опечатки и погрешности в оформлении формул, в частности, излишние знаки умножения (точки) в формулах 2.12-2.22.

### **Общая характеристика диссертационной работы**


В целом, несмотря на отмеченные недостатки и замечания, представленная диссертация выполнена на высоком научно-техническом уровне и представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную на актуальную тему, связанную с разработкой, теоретическим и экспериментальным обоснованием и практическим внедрением систем интенсификации перемешивания при электроплавке металла.

Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли достаточную апробацию на 21 научно-технической конференции, в том числе с международным участием, и опубликованы в 22 научных трудах соискателя, включая 7 в изданиях рекомендованных ВАК, получено 2 свидетельства о государственной регистрации пакета программ и 3 патента РФ на полезную модели и 1 патент РФ на изобретение.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Учитывая актуальность выполненных исследований, научную новизну и практическую значимость полученных результатов считаю, что представленная диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям п. 9 Положения ВАК о присуждении ученых степеней, а ее автор – Портнова Ирина Васильевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – Metallургия черных, цветных и редких металлов.

Официальный оппонент  
научный сотрудник  
ФГБУН Объединенного института  
высоких температур РАН  
канд. техн. наук

  
12.01.17

Тепляков Игорь Олегович

Адрес: 125412 Москва,  
ул. Ижорская, 13 стр.2,  
ФГБУН Объединенный институт  
высоких температур РАН  
тел.: +74953611673  
vortex@iht.mpei.ac.ru

Подпись Теплякова И. О. удостоверяю  
ученый секретарь  
ФГБУН Объединенного института  
высоких температур РАН  
д-р.физ.-мат. наук



Амиров Равиль Хабибулович