

Отзыв

официального оппонента Афонаскина Александра Васильевича
на диссертационную работу Портновой Ирины Васильевны
«Повышение эффективности перемешивания металла в ванне путем совершенствования конструкции дуговой печи постоянного тока малой вместимости», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – Metallургия черных, цветных и редких металлов

Актуальность темы диссертации

Один из основных вопросов для успешной работы литейного производства заключается в правильном выборе плавильного агрегата. Опыт эксплуатации показывает, что применение магнитогидродинамического (МГД) перемешивания металла в дуговых печах постоянного тока с двумя подовыми электродами обеспечивает равномерность температуры по всему объёму расплава, позволяет получать полное соответствие сплава по химическому составу требованиям ГОСТ1583-93, при этом содержание газов и неметаллических включений оказывается ниже пределов, установленных этим ГОСТом.

При работе дуговой печи постоянного тока с двумя подовыми электродами важным является знание механизмов образования и поведения электровихревых течений металла в ванне, детальное понимание особенностей их поведения при разной конструкции печи и технологических параметрах.

В рассматриваемой диссертационной работе основными вопросами являются: установление влияния конструктивных параметров печей, работающих в режиме электровихревого перемешивания расплава металла; определение рациональных конструкций внешних индукторов, используемых при кондукционном перемешивании. Исходя из вышесказанного, рассматриваемая диссертационная работа является актуальной.

Область исследований соответствует паспорту специальности ВАК 05.16.02 – «Metallургия черных, цветных и редких металлов» по следующим пунктам:

7. Тепло- и массоперенос в низко- и высокотемпературных процессах;

12. Электрометаллургические процессы и агрегаты,
17. Материало- и энергосбережение при получении металлов и сплавов,
20. Математические модели процессов производства черных, цветных и редких металлов.

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы и приложений. Объем диссертации составляет 144 страницы, включает 79 рисунков, 15 таблиц, список литературы содержит 136 наименований.

В первой главе дан литературный обзор известных способов перемешивания расплава металла в ванне и процессов, проходящих при перемешивании металлов и сплавов, конструкции ДППТ и оборудование, влияющие на процессы тепло- и массообмена в жидкой ванне. Дан анализ существующих электромагнитных способов перемешивания металла в ванне дуговой печи, показано, что для ДППТ более перспективными являются технологии МГД перемешивания металла.

На основе проведенного анализа научно-технической литературы обозначен круг проблем, связанных с МГД перемешиванием ванны, на основании которых сформулированы цель и задачи.

Во второй главе рассмотрена технология выплавки стали 110Г13Л, выполнены балансовые расчеты плавки. С помощью разработанной математической модели и созданной на ее основе компьютерной программы, проанализировано тепловое состояние куска ферромарганца имеющего шаровую форму, динамика его нагрева и плавления в зависимости от скорости обтекания жидким металлом.

Предложена математическая модель и компьютерная программа, позволяющая находить распределение напряженности магнитного поля вблизи токоподводов, имеющих разную форму к подовому электроду, и использующихся при кондукционном перемешивании металла в ванне ДППТ. При использовании кондукционного перемешивания установлены наиболее перспективные конструкции токоподводов в форме плоской спирали Архимеда и в форме винтовой линии.

Методом компьютерного моделирования получены данные о характере объемных электромагнитных сил в жидкой ванне ДППТ, на основе которых показан характер электровихревых течений при одном и двух подовых электродах.

Третья глава посвящена физическому моделированию движения расплава в ванне под действием собственных и внешних магнитных полей с использованием раствора поваренной соли в воде и расплава олова. Посредством теории подобия и размерности установлены критерии подобия, определяющие характер электровихревых течений в ванне ДППТ, с помощью которых получены геометрические и технологические масштабы для создания экспериментальных установок. Приведены описания оригинальных экспериментальных установок, методика исследований и оценены погрешности измерений. Проведены качественные исследования характера течения в жидкой ванне и оценочные количественные измерения скорости расплава на свободной поверхности с учетом положения подовых электродов и катода. Отражены результаты экспериментальных исследований кондукционного перемешивания расплава металла в модельных ваннах.

В четвертой главе даны практические рекомендации по применению электровихревого и кондукционного перемешивания в дуговых печах постоянного тока. Интересной является предложенная схема управления перемешиванием металла в ванне дуговой печи постоянного тока за счет изменения токов, протекающих через подовые электроды. Для печи ДППТ-5 проведен расчет ожидаемого экономического эффекта за счет интенсификации процесса перемешивания жидкого металла в ванне при использовании токоподвода к подовому электроду в виде плоской спирали Архимеда.

В заключении даны общие выводы и основные результаты всей работы.

Работа написана грамотно и довольно хорошо иллюстрирована (79 рисунков и 15 таблиц). Материалы диссертационной работы достаточно полно опубликованы в 22 статьях, семь из которых рекомендованных ВАК и одной монографии. Содержание автореферата полностью отражает основные положения и выводы диссертации.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность.

Обеспечивается использованием современных экспериментальных методов исследований, поверенной измерительной аппаратуры, достаточно большим объемом лабораторных исследований, применением компьютерного моделирования с помощью оригинальных программных продуктов, сопоставление результатов физического и математического моделирования. В работе доказана физическая реализуемость, адекватность и достоверность результатов полученных с использованием математических и физических моделей.

Результаты исследований неоднократно докладывались и обсуждались на Международной научной конференции «Современные проблемы электрометаллургии стали» в 2004, 2007, 2015 гг., VII и X Конгрессах сталеплавильщиков, на Международной научно-практической конференции «Теория и практика тепловых процессов в металлургии» в 2012 г. и ряде других.

Среди результатов диссертации, обладающих **научной новизной**, можно выделить следующие, наиболее значимые:

– установлены зависимости о динамике нагрева и плавления кусков ферромарганца различного размера от скорости их обтекания жидкой сталью;

– получены новые закономерности о влиянии диаметров подовых электродов и их расположения в ДППТ на интенсивность электровихревых течений и объемных электромагнитных сил, новые экспериментальные данные о характере течения токонесущего расплава при внешнем вертикальном магнитном поле и характере течений в жидкой ванне с одним и двумя подовыми электродами под действием собственного магнитного поля;

– теоретически обоснована возможность управления интенсивностью и направлением течения металла в ванне ДППТ за счет изменения соотношения токов и сдвига фаз между пульсирующими токами, проходящими через подовые электроды.

Практическая значимость диссертационной работы заключается:

– в разработке технических рекомендаций по проектированию новых и реконструкции существующих ДППТ, приводящие к интенсификации перемешивания жидкометаллических расплавов;

– предложены новая конструкция ДППТ, способ ведения электроплавки в ДППТ и конструкции токоподвода к ДППТ, на которые получены патенты РФ.

Изучение диссертационной работы и анализ полученных результатов позволяют вынести для обсуждения в диссертационном совете следующие **замечания и вопросы**.

1. При кондукционном перемешивании рекомендуется использовать внешний токоподвод предлагаемой конструкции для создания внешнего магнитного поля. В то же время в токонесущей ванне возникает и собственное магнитное поле. Отсюда остается непонятным, как эти поля взаимодействуют между собой, и как это влияет на поведение расплава в ванне и его перемешивание?

2. В диссертации установлено (стр. 74), что при асимметрии токов, проходящих через ванну и подовые электроды, возникают дополнительные вихревые течения. Однако они могут привести не только к усилению перемешивания ванны, но и к отрицательным влияниям, например к интенсивному вымыванию футеровки. Какие практические рекомендации можно дать для снижения этих негативных явлений?

3. Исходя из рисунков 3.8–3.12 (стр. 95–99) вращение металла в горизонтальной плоскости на свободной поверхности происходит при смещении подового электрода. Однако по приведенным рисункам непонятно, будет ли подобное поведение металла отмечаться в случае подключения двух подовых электродов?

4. В опытах с водным раствором соли при кондукционном перемешивании расплава описаны наблюдения застойных зон в пристенной области ванны. Непонятно, были ли подобные зоны в опытах с расплавом олова?

Из **мелких замечаний** следует отметить, что в тексте есть опечатки. В частности, в диссертации на стр. 10 написано, что опубликована 21 работа, а в автореферате указаны 22 работы. На стр. 17 написано «... применении ЭМП

перемешивания...», слово «перемешивание» входит в сокращение. На стр. 124 написано $I_D = 0,5$ кА, исходя из текста диссертации «Д» должна быть индексом. На стр. 152 (Приложение Г) часть предложения в первом абзаце написана без пробелов между словами.

Заключение

Несмотря на отмеченные замечания, которые носят дискуссионный или редакционный характер, считаю, что работа Портновой Ирины Васильевны представляет законченную научно-квалификационную работу, которая выполнена на актуальную тему и решает важную задачу по повышению эффективности МГД-перемешивания расплава ванны дуговой печи постоянного тока за счет рекомендации рациональных конструктивных параметров печи.

Считаю, что диссертационная работа и автореферат Портновой Ирины Васильевны удовлетворяет требованиям ВАК к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – Metallургия черных, цветных и редких металлов.

Официальный оппонент
профессор, доктор технических наук,
технический советник исполнительного директора
ОАО «Уральский научно-исследовательский
технологический институт»



Александр Васильевич Афонаскин

14.01.17

Россия, 620027, г. Екатеринбург,
ул. Луначарского, 31.
тел.: +7(343) 386-15-15, 89120470026
e-mail: a.v.afonaskin@uralniti.ru

Подпись А.В. Афонаскина удостоверяю

Референт-секретарь Кузнецова С.И.

