

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе

В.В. Кружаев

2017 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» на диссертацию 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 – Metallurgy черных, цветных и редких металлов

Актуальность темы диссертации

В металлургической промышленности достаточно широко распространены различные технологии с использованием электрических токов, протекающих через ванну расплава. Типичными примерами являются выплавка металлов в дуговых и плазменных печах, установки электрошлакового и вакуумно-дугового переплава.

Все металлургические технологии, использующие токонесущие расплавы, как правило, связаны с его получением, проведением физико-химических процессов и получением однородного продукта. Отсюда для различных технологий большую роль играет перемешивание расплава в ванне, например для выплавки высококачественных металлов и сплавов.

В настоящее время при реализации технологических процессов по выплавке стали, чугуна, цветных металлов и сплавов, особенно в «малой» металлургии, где используются печи вместимостью до 25 т наряду с дуговыми печами, работающими на переменном токе, достаточно широко используются дуговые печи постоянного тока (ДПТТ).

В последнее время на ДПТТ применяются новые технологии перемешивания металла с использованием управляемых электровихревых течений, где движение

металла в токонесущем расплаве возникает в результате взаимодействия электрического тока с собственным магнитным полем. При данной технологии перемешивания ванны актуальным остается исследование механизма образования и поведения электровихревых течений для более детального понимания особенностей таких течений при разной конструкции печей. Следует отметить, что до сих пор остается малоизученным режимы электровихревых течений в жидкой ванне ДППТ с двумя подовыми электродами.

В рассматриваемой диссертационной работе предложено решение задач по определению рациональных конструкций внешних индукторов, используемых при кондукционном перемешивании, установлено влияние конструктивных параметров для одного или двух подовых электродов при электровихревом перемешивании, определены параметры технологических режимов, повышающих эффективность перемешивания расплава. В связи с вышеизложенным данная работа является актуальной.

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

В первой главе проанализированы роль и влияние перемешивания при выплавке металлов и сплавов, проведен анализ известных способов перемешивания расплава металла в ванне, приведены известные конструкции дуговых печей и оборудование, влияющие на процессы тепло- и массообмена в жидкой ванне. Сформулированы задачи исследования.

Во второй главе рассмотрена технология выплавки стали 110Г13Л. Разработана математическая модель и компьютерная программа, с помощью которой проведено моделирование плавления ферромарганца, проанализирована динамика нагрева и плавления кусков ферромарганца различного размера в зависимости от скорости движения жидкого металла. Рассмотрено поведение внешнего и собственного магнитных полей вблизи токоподводов различной конфигурации при кондукционном и электровихревом перемешивании, распределение электромагнитных параметров и объемных электромагнитных сил в ванне ДППТ в

зависимости от тока и конструктивных параметров подовых электродов. Проанализированы результаты компьютерного моделирования.

В третьей главе представлены результаты физического моделирования с использованием раствора поваренной соли в воде и расплава олова. Проведено изучение качественной роли отдельных факторов на поведение токонесущего расплава: влияние количества подовых электродов и их размещение на подине; воздействие на течение жидкого металла при смещении оси катода от оси ванны; понимание процесса перемешивания при смещении подовых электродов от оси ванны. Показаны результаты экспериментальных исследований с использованием расплава металла и водного раствора соли в модельных ваннах при кондукционном и электровихревом перемешивании. Подробно описаны экспериментальная часть и полученные результаты, сделаны выводы, представляющие научный и практический интерес. Проанализирована адекватность созданных математических моделей, рассмотренных во второй главе.

В четвертой главе на основе проведенных экспериментальных и теоретических исследований предложены конструкции ДППТ и способ ведения плавки металлов. Разработаны практические рекомендации по применению электровихревого и кондукционного перемешивания в ванне ДППТ. Обоснована теоретическая возможность управления интенсивностью и направлением течения расплава в ванне.

По каждой главе сделаны выводы. Также представлены общие выводы по всей диссертационной работе.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. 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. Рекомендован выбор характеристик пульсирующих токов, протекающих через подовые электроды для повышения эффективности перемешивания расплава в ванне ДППТ.

2. Установлены зависимости о динамике нагрева и плавления кусков ферромарганца различного размера от скорости их обтекания жидкой сталью.

3. Созданы математическая модель и программный продукт, позволяющие посредством компьютерного моделирования находить распределение напряженности внешнего магнитного поля вблизи токоподводов разной формы к подовому электроду при кондукционном перемешивании металла в ванне ДППТ. Получено распределение объемных электромагнитных сил и определен характер электровихревого течения в ванне ДППТ при подключении одного или двух подовых электродов и при смещении графитированного электрода от оси ванны.

4. 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.

Теоретическая значимость работы состоит в следующем:

1. С использованием математического и компьютерного моделирования установлено, что нагрев и плавление кусков ферромарганца в жидкой стали существенно зависит от скорости движения металла, а значит от интенсивности перемешивания расплава в ванне.

2. С использованием физических моделей выявлен характер электровихревого течения жидкого металла на свободной поверхности ванны и в меридиональной плоскости, проходящей через ось ванны при разном расположении подовых электродов, а также особенности течения токонесущего расплава при внешнем вертикальном магнитном поле.

3. Установлено, что интенсивность и направление осевого вращения жидкого металла в горизонтальной плоскости обусловлено взаимодействием горизонтальной составляющей электрического тока, растекающегося по ванне, с внешними вертикальным магнитными полем, включая магнитное поле Земли.

4. Результаты исследований особенностей формирования и развития электровихревых течений позволяют научно обосновать и оптимизировать современные магнитогидродинамические методы управления тепломассообменными процессами, имеющими место при плавке металлов и сплавов в дуговой печи постоянного тока.

Практическая значимость полученных автором результатов

Практическое значение результатов диссертационной работы определяется тем, что полученные новые сведения о кондукционном и электровихревом перемешивании в зависимости от конструктивных параметров ДППТ и токоподводов к подовому электроду, показывают пути интенсификации и управления процессом перемешивания в жидкой ванне.

Публикация и апробация диссертационной работы

Основные научные результаты диссертационной работы Портновой Ирины Васильевны опубликованы в 22 работах в отечественных и зарубежных изданиях. Основные положения и результаты, изложенные в автореферате и диссертационной работе, в полном объеме отражены в работах автора и докладывались на научно-технических конференциях и семинарах.

Полученные автором диссертации результаты достоверны и имеют существенную новизну, их можно рассматривать как научное достижение в области изучения процессов электромагнитного перемешивания металла в ванне с токонесущим расплавом. Обоснованы все полученные выводы, рекомендации. Работа написана грамотно и аккуратно оформлена. Автореферат и опубликованные работы соответствуют основному содержанию диссертации и выбранной научной специальности.

Результаты диссертации могут быть использованы проектными организациями, занимающимися конструированием новых и модернизацией действующих металлургических агрегатов, имеющих токонесущую ванну жидкого металла, в частности при разработке токоподводов к подовому электроду.

Замечания

Положительно оценивая рецензируемую работу в целом, по ее содержанию необходимо сделать следующие замечания и вопросы:

1. Осталось непонятным, можно ли разработанную диссертантом математическую модель и компьютерную программу нагрева и плавления кусков ферромарганца использовать для изучения расплавления других ферросплавов?

2. Почему в экспериментах с использованием раствора поваренной соли и расплава олова устанавливали подовые электроды под углами 90° и 180° , а в выводах по работе рекомендуется диапазон 70° — 100° ? Непонятно также, почему в экс-

периментах с раствором соли провели опыты только с центральным и со смещенным электродами, хотя в исследуемой лабораторной ванне, судя по рисунку и фотографиям, установлены четыре электрода?

3. Как можно перенести результаты экспериментов, полученных на ванне № 2, где изучался характер движения жидкого металла на ее свободной поверхности, на реальную дуговую печь, в которой движение расплава происходит в вертикальной (меридиональной) плоскости в объеме ванны?

4. При кондукционном перемешивании вертикальное магнитное поле приведет не только к воздействию на расплав, находящийся в ванне, но и к интенсивному вращательно-колебательному движению электрической дуги по поверхности жидкого металла и шлака. Как это скажется на работе ДППТ?

Указанные замечания не снижают научной ценности работы и не влияют на общее положительное мнение о диссертационной работе.

Заключение. Диссертационная работа Портновой Ирины Васильевны «*Повышение эффективности перемешивания металла в ванне путем совершенствования конструкции дуговой печи постоянного тока малой вместимости*» является законченной научно-квалификационной работой, в которой представлены результаты. Она имеет все необходимые разделы от постановки задач, обзора и выбора методов их решения до представления результатов эксперимента, их анализ, выводов и заключения.

Основные материалы и результаты диссертационной работы достаточно полно опубликованы и апробированы на международных научно-технических конференциях и с этих позиций отвечают требованиям ВАК к кандидатским диссертациям. Содержание автореферата полностью соответствует основным положениям диссертации.

Диссертационная работа соответствует критериям, установленным пп. 9, 10, 14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор И.В. Портнова, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – *Металлургия черных, цветных и редких металлов.*

Диссертация и отзыв обсуждены на заседании кафедры «Теплофизика и информатика в металлургии» Института новых материалов и технологий Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина (Протокол № 1 от 12 января 2017г.).

Отзыв подготовили: доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Теплофизика и информатика в металлургии» ФГАОУ ВО УрФУ Швыдкий Владимир Серафимович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Теплофизика и информатика в металлургии» ФГАОУ ВО УрФУ Воронов Герман Викторович.

Спирин Николай Александрович
заведующий кафедрой «Теплофизика и информатика в металлургии»
доктор технических наук, профессор;
тел. (343) 375-48-15; e-mail: n.a.spirin@urfu.ru;
почтовый адрес: 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира 19, Уральский федеральный университет, Институт новых материалов и технологий.

Швыдкий Владимир Серафимович
доктор технических наук,
профессор кафедры «Теплофизика и информатика в металлургии»;
тел. (343) 375-44-51; e-mail: vshvit@isnet.ru;
почтовый адрес: 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира 19, Уральский федеральный университет, Институт новых материалов и технологий.

Воронов Герман Викторович
доктор технических наук,
профессор кафедры «Теплофизика и информатика в металлургии» металлургии»
металлургии,
металлургии,
тел. (343) 375-44-51;
почтовый адрес: 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира 19, Уральский федеральный университет, Институт новых материалов и технологий.

Подписи заверяю

Ю.Ю. Мешуков

17.01.17



Ю.Ю. Мешуков