

## ОТЗЫВ

на диссертационную работу Тупилко Ирины Владимировны на тему «Разработка энергоресурсосберегающих режимов внепечной деазотации жидкого металла в условиях интенсификации процессов тепломассопереноса» представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.04 «Промышленная теплоэнергетика».

Аспирантка Тупилко Ирина Владимировна за период подготовки диссертации проявила себя как трудолюбивый и целеустремленный научный исследователь, способный реализовать цели и задачи, поставленные научным руководителем, применять для решения этих задач современные методы исследования, анализировать и интегрировать полученные результаты. Будучи аспиранткой заочной формы обучения, она участвовала в проведении учебных занятий как на кафедре «Металлургия стали и сплавов» Донецкого национального технического университета, так и в школе.

Актуальность темы исследования. Проблема энергоресурсосбережения является одной из ключевых для металлургической промышленности, ввиду высокой энергозатратности этого производства на большинстве этапов технологической цепочки. Данная оценка в полной мере относится к технологической фазе улучшения качества металла, в которой находят широкое и эффективное применение установки внепечной дегазации.

Проведенный обзор современного состояния проблемы деазотации жидкого металла показал, что существенное влияние на состав металла в технологиях его деазотации имеют процессы конвективного тепломассопереноса атомов азота в расплаве. Авторы работ ставят проблему изыскания дополнительных способов интенсификации внепечной деазотации расплавов с учетом существующих разработок в этом направлении. Классическим вариантом внепечной дегазации металла является его продувка инертным газом в ковше. И.И. Борнацкий, В.И. Мачикин, В.С. Живченко. на основании экспериментальных исследований нашли, что не интенсивность продувки, а количество пузырей аргона, внедряемых в металл в единицу времени, является фактором интенсификации процессов конвективного тепломассопереноса. По данным Н.М. Чуйко наиболее интенсивной по тепломассопереносу является продувка через пористые элементы днища ковша, которая обеспечивает распределение мелких пузырьков инертного газа по всему объему расплава. А.В. Кайбичев исследовал влияние электрического воздействия на расплав металла в процессе внепечной дегазации. Из зарубежных специалистов внепечной деазотацией занимались преимущественно японские ученые: А. Kazuo, Т. Harada, S. Tasisada.

В настоящее время отсутствует универсальный способ деазотации металла на уровне современных требований к качеству металлических изделий энергоресурсосберегающие режимы интенсификации процессов теплообмена. В связи с этим актуальна тема диссертационной работы, которая посвящена разработке энергоресурсосберегающих режимов интенсификации процессов теплообмена в условиях внепечной деазотации металла.

Цель и задачи исследования. Целью работы являются разработка энергоресурсосберегающих режимов деазотации жидкого металла в условиях интенсификации процессов теплообмена.

Задачи исследования:

- разработка способа энергоресурсосбережения внепечной дегазации жидкого металла от растворенного азота комплексным воздействием в условиях интенсификации процессов теплообмена;
- построение математической модели процессов теплообмена азота в жидкой ванне в условиях продувки расплава аргоном через «пористое кольцо» в днище ковша при атмосферном давлении под слоем азотопроницаемого синтетического шлака;
- параметрическая идентификация этой модели относительно реального объекта по данным лабораторных исследований;
- проведение численных экспериментов на основе математической модели и разработка энергоресурсосберегающего режима технологии в условиях интенсификации процессов теплообмена;
- проведение численных экспериментов и разработка энергоресурсосберегающего режима технологии деазотации в условиях интенсификации процессов теплообмена при комплексном воздействии на металл вакуума, продувки инертным газом и электростатического поля.

Научная новизна полученных результатов.

1. Впервые при математическом моделировании конвективной диффузии удаляемого из жидкого металла газа при его внепечной обработке в условиях атмосферного давления учтён теплообмен расплава с атмосферой через слой синтетического шлака. Разработанная математическая модель применима к металлу с достаточно высокой температурой плавления и эффективно описывает растворение удаляемого азота в расплаве и ионизацию в нём атомов газа.

2. Впервые теоретически обоснован и экспериментально подтвержден эффект интенсификации молекулярного звена  $2[N] = \{N_2\}$  теплообменного процесса удаления азота из расплава металла, механизм которого состоит в формировании

электростатическим полем области повышенной концентрации (локализованного сгустка) в области проекции границы электрода (источника электростатического поля) на межфазную поверхность "вакуум-металл".

3. Впервые в результате проведенных исследований установлены научные предпосылки реализации энергоресурсосберегающего режима технологии внепечной дегазации металла от растворенного в нем азота при участии молизионного звена в лимитировании тепломассообменного процесса.

4. Впервые получено обобщение соотношения закона Сивертса для постановки граничного условия к уравнению конвективной диффузии атомов азота в расплаве при исследовании в нём процессов тепломассопереноса. Обобщение достигнуто за счёт дополнительного учёта воздействия электростатического поля докритических напряженностей на межфазную поверхность «вакуум-металл» и степени ионизации атомов азота в расплаве.

5. Впервые проведена количественная оценка интенсивности тепломассообменного процесса азота в жидкой ванне при внепечной деазотации металла комплексным воздействием в условиях лимитирования этого процесса кинетической (молизионной) стадией.

Теоретическая значимость работы.

1. Обоснован эффект интенсификации молизионного звена  $2[N]=\{N_2\}$  тепломассообменного процесса удаления азота из расплава металла.

2. Обобщено соотношение закона Сивертса для постановки граничного условия к уравнению конвективной диффузии атомов азота в жидком металле с учётом воздействия электростатического поля докритических напряжённости на межфазную поверхность «вакуум-металл» и степени ионизации атомов азота в расплаве.

Практическая значимость работы.

Разработанный энергоресурсосберегающий режим технологии в условиях интенсификации процессов конвективного тепломассопереноса в расплаве.

Положения, выносимые на защиту.

1. Эффект интенсификации молизионного звена  $2[N] = \{N_2\}$  тепломассообменного процесса удаления азота из расплава металла.

2. Соотношение закона Сивертса для постановки граничного условия к уравнению конвективной диффузии атомов азота в жидком металле с учётом воздействия электростатического поля докритических напряжённости на межфазную поверхность «вакуум-металл» и степени ионизации атомов азота в расплаве.

3. Математическая модель процессов конвективного теплопереноса при внепечной дегазации жидкого металла продувкой инертным газом при атмосферном давлении под слоем синтетического шлака.

Способ энергоресурсосбережения технологии внепечной дегазации жидкого металла от растворённого в нём азота интенсификации процессов теплопереносе.

Аспиранткой Тупилко И.В. проработан значительный объем литературных источников по теме диссертации, изучены современные методы как математического моделирования (метод конечных разностей), так и обработки результатов экспериментальных исследований (методы корреляционного и регрессионного анализов).

Руководимая мною работа соответствует всем требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям специальности 05.14.04, а аспирантка И.В. Тупилко заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Научный руководитель  
док. техн. наук,  
доцент, профессор кафедры  
«Техническая теплофизика»  
ГОУВПО «Донецкий национальный  
технический университет»

Захаров Н.И.

