

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Метелкина Анатолия Алексеевича
«Развитие технологических основ комплексной ковшевой обработки расплава
после выпуска из сталеплавильного агрегата», представленную на соискание
ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.2. Metallургия
черных, цветных и редких металлов

Общая характеристика работы

Диссертационная работа выполнена на кафедре «Metallургия железа и сплавов» Института новых материалов и технологий ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н.Ельцина». Диссертация изложена на 330 страницах машинописного текста, состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы и 7 приложений. Список литературы включает 379 наименования. Имеются ссылки как на работы отечественных, так и зарубежных ученых.

По структуре и объему работа соответствует требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям. Диссертация написана научным языком и стилем, содержит весь необходимый материал для понимания сущности исследования. Полученные результаты отвечают поставленным целям и задачам. В представленном соискателем автореферате достаточно полно раскрыто содержание диссертационной работы, при одновременном сохранении ее структурного построения, опубликованные работы также в достаточной мере отражают ее содержание.

Соответствие паспорту специальности

Содержание диссертации соответствует паспорту научной специальности 2.6.2 Metallургия чёрных, цветных и редких металлов, в частности, направлениям исследований по пп. 2. «Твердое и жидкое состояние металлических, оксидных, сульфидных, хлоридных и смешанных систем», пункту 4. «Термодинамика и кинетика металлургических процессов» и пункту 21. «Внепечная обработка металлов» паспорта специальности.1.

Актуальность темы исследования

Совершенствование всех стадий является необходимой и важной задачей для современного сталеплавильного производства. Одним из важнейших является участок ковшевой обработки стали (КОС), где производится доводка

расплава до необходимых температуры и химического состава с удалением вредных примесей, таких как сера и растворенные газы.

В большинстве случаев удаление вредных примесей осуществляется в разных металлургических агрегатах. Плавке стали в конвертере часто предшествует ковшевая десульфурация чугуна, десульфурация стали осуществляется в агрегате ковш-печь (АКП) путем формирования высокоосновного раскисленного шлака, а удаление газов происходит в вакууматорах ковшевого или циркуляционного типа.

Для оптимизации состава шлака необходимо знать поведение оксидов в шлаковом расплаве. Если свойства оксидов CaO , MgO и SiO_2 известны, то Al_2O_3 является амфотерным оксидом и может проявлять, как основные, так и кислотные свойства. Поэтому изучение поведения оксида алюминия в оксидном расплаве позволит определить десульфурierende свойства шлака, а также необходимое количество и состав шлакообразующих материалов для достижения необходимого состава шлака.

Важной практической задачей является удаление газов и получение ультранизкой концентрации (менее 0,002 %) углерода в расплаве. Эти задачи решаются, как правило, в агрегате циркуляционного вакуумирования, который позволяет осуществлять комплексную обработку расплава низким остаточным давлением (менее 100 Па), а также продувкой инертным газом. При этом в данном металлургическом агрегате осуществляется несколько механизмов дегазации, влияние которых на удаление водорода и углерода, будет зависеть от технологических и конструктивных параметров вакуум – камеры.

Поэтому изучение вопросов по контролируемому удалению примесей на участке КОС с рациональными технологическими параметрами, обеспечивающими необходимый химический состав расплава при пониженном расходе материальных ресурсов является актуальной проблемой.

Научная новизна

Основной идеей диссертационной работы Метелкина А.А. является научное обоснование и разработка комплексных технических решений, обеспечивающих совершенствование ковшевой обработки стали.

Разработанная методика оценки сульфидной емкости шлака, учитывающая взаимосвязь температуры и введенного параметра показателя основности в многокомпонентной системе $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO-}$ ($\text{FeO}+\text{MnO} < 1,5$), учитывает влияние оксидов, проявляющих основные, кислотные свойства и амфотерного оксида Al_2O_3 . Показано, что при повышении Al_2O_3 в шлаках, формируемых в АКП, данный оксид начинает проявлять кислотные свойства. Установлена зависимость состава шлака, обладающего максимальной сульфидной емкостью и менее агрессивного по отношению к

футеровке агрегата, позволяющая точно прогнозировать остаточное содержание серы в металле после обработки в агрегатах ковшевой обработки стали от количества шлакообразующих материалов, для групп марок сталей без использования CaF_2 .

На основе анализа механизмов дегазации металлических расплавов разработана методика подбора рациональных технологических параметров процесса вакуумирования и конструкций вакуум-камер. Подтверждены основные механизмы удаления водорода и углерода (через образование газообразных продуктов раскисления) в циркуляционном вакууматоре – из глубины расплава в вакуум-камере и в пузырьки нейтрального газа, подаваемого во впускной патрубок.

Теоретическая и практическая значимость работы.

На основании разработанной методики определён состав шлака, обладающего рациональными рафинировочными свойствами. Формирование шлака с рекомендованным химическим составом позволило снизить расход шлакообразующих материалов, для групп марок сталей без использования CaF_2 , отдаваемых в сталеразливочный ковш. В период промышленных испытаний в конвертерном цехе АО ЕВРАЗ НТМК было отмечено снижение расхода шлакообразующих материалов на 7,5 % (с 8,0 до 7,4 кг/т стали) и улучшена степень десульфурации на 14 % по сравнению с серийными плавками, при этом стойкость футеровки агрегатов АКП осталась без изменений.

Выявлены взаимосвязи между технологическими и конструктивными параметрами реальных металлургических агрегатов для обработки расплава вакуумом в зависимости от емкостей сталеразливочных ковшей 140–180 и 300–370 т.

Впервые определены технологические параметры обработки стали в циркуляционных вакууматорах различной емкости, обеспечивающих максимальное значение ($S_{\text{пуз}}$), за счет рациональных значений скорости циркуляции расплава (G), количества подаваемого газа (Q) и внутреннего диаметра впускного патрубка (D_U).

На основании предложенной методики разработаны рекомендации для определения рациональных расходов транспортирующего, нейтрального газа в зависимости от конструкции впускного патрубка – одного из элементов вакуум-камеры, позволяющие достигать содержание углерода в металле после вакуумирования менее 0,002 %.

Показано, что износ футеровки вакуум-камеры влияет на технологические параметры вакуумирования стали. При износе внутренней футеровки впускного патрубка изменяется его внутренний диаметр, что приводит к изменению параметра ($S_{\text{пуз}}$) и, соответственно, технологии вакуумирования.

Разработана рациональная конструкция впускного патрубка – одного из элементов вакуум-камеры. Опытные вакуум-камеры с рекомендованными размерами футеровки показали повышение средней стойкости футеровки на 27 % с 116,09 до 147,57 плавов.

Научные результаты были использованы на металлургическом предприятии АО ЕВРАЗ НТМК

Степень обоснованности и достоверности научных положений.

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций диссертационной работы сомнений не вызывает, так как они базируются на фундаментальных представлениях теории металлургических процессов и не противоречат известным научным фактам и литературным данным. Достоверность экспериментальных данных представляется убедительной, поскольку обусловлена комплексным характером исследований с использованием независимых экспериментальных методов, стандартных методик исследования, современного оборудования и специализированного программного обеспечения, подтверждается сходимостью результатов экспериментов. В целом теоретические и практические результаты диссертации не вызывают возражений, безусловно обладают научной новизной и являются существенными, ранее не известными из литературных источников, научными фактами. Новизна предлагаемых автором технических решений подтверждается полученными патентами.

Подтверждение публикации основных результатов диссертации в научных изданиях

Материалы диссертации представлены на международных и всероссийских конференциях, а также достаточно полно опубликованы в научных журналах и сборниках. Основные результаты диссертационной работы в достаточной степени освещены в 30 работах, из них 16 статей, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ, в том числе 14 в журналах, индексируемых в международной базе Scopus и Web of Science (WoS); 3 монографии в соавторстве; получено 2 патента РФ на изобретение

Вопросы и замечания по диссертационной работе Метелкина А.А.:

1. В первой главе с многозначительным названием «Технологические основы ковшевой обработки стали», на мой взгляд, недостаточно внимания уделено обезуглероживанию металла и удалению неметаллических включений в процессе VOD. По-видимому, это связано с тем, что

промышленными объектами исследований диссертанта были конвертерные цехи АО «ЕВРАЗ НТМК» и ПАО «НЛМК», оснащенные только вакууматорами типа РН.

2. Вызывает сомнения полученные во второй главе (с.129) рекомендации, где «... определен состав шлака, обладающего рациональными рафинировочными свойствами: $\text{CaO} - 53,0 \pm 0,5 \%$; $\text{Al}_2\text{O}_3 - 20,0 \pm 0,5 \%$; $\text{SiO}_2 - 18,0 \pm 0,5 \%$; $\text{MgO} - 8,0 \pm 0,5 \%$; $(\text{FeO} + \text{MnO}) < 1,5 \%$.» Хорошо бы рекомендовать рациональный состав шлака в пределах, а не монотониями. Вряд ли шлак с основностью $\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 3$ обладает максимальной десульфурющей способностью. Бросается в глаза высокое содержание (18%) SiO_2 в рекомендуемом шлаке, появляется предположение о допущении попадания большого количества конвертерного шлака в сталеразливочный ковш. На практике редко содержание SiO_2 превышает 10%, а основность шлака бывает ниже 5.

3. В таблицах 2.9 и 2.10 в некоторых случаях значения L_s достигает более 1000, что означает содержание серы в шлаке порядка нескольких процентов. Это представляется нереальным.

4. В п.3.1., на мой взгляд, излишне подробно изложен вывод модели образования газовых пузырей, при этом сделано много принципиальных допущений, что несколько снижает ценность этой модели.

5. В п.3.2. приведены механизмы и оригинальная модель удаления газов в циркуляционном вакууматоре. Последняя была бы более ценной, если бы удалось более основательно оценить поверхность струй и капель металла, неизбежно образующихся в зоне вакуума.

6. Из текста не понятно, на какие группы марок стали распространяется диссертационное исследование. Так, шлаки рекомендуемым составом абсолютно неприемлемы для обработки сталей с ограниченным содержанием кремния, например, автокузовных. При этом следовало бы четче разделить результаты исследований в ККЦ АО «Евраз НТМК» и ККЦ №1 и №2 ПАО «НЛМК». Привести характерный сортамент этих цехов, технологические схемы и особенности технологий. Поэтому вызывает сомнение актуальность расчетов удаления и поступления углерода при вакуумировании металла в 320-тонном сталеразливочном ковше (видимо ККЦ №2 ПАО «НЛМК»). Известно, что этот цех специализирован на производстве сталей с обычным содержанием углерода.

7. В тексте диссертации и автореферата не везде заменен устаревший термин АКЭС (агрегат комплексной обработки стали) на АКП (агрегат ковш-печь).

В целом высказанные в отзыве замечания имеют рабочий и дискуссионный характер, не являются принципиальными и не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

Заключение по диссертации

Диссертационная работа Метелкина А.А. «Развитие технологических основ комплексной ковшевой обработки расплава после выпуска из сталеплавильного агрегата» представленная на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.2. Metallургия черных, цветных и редких металлов отвечает требованием п.9 «Положения о присуждении ученых степеней» в ФГАОУ ВО «Уральский Федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а её автор Метелкин Анатолий Алексеевич – заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.2. Metallургия черных, цветных и редких металлов

Официальный оппонент,
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Магнитогорский
государственный технический
университет им. Г.И. Носова»,
профессор кафедры металлургии и
химических технологий

«15 » апреля 2024

Бигеев Вахит Абдрашитович

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Магнитогорский государственный технический
университет им. Г.И. Носова».

455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38.;
Раб. тел.: + 7 (800) 100-1934;
mgtu@magtu.ru

Подпись Бигеева В.А. заверяю.

