

Отзыв

официального оппонента доктора технических наук, профессора Смирнова Николая Александровича на диссертационную работу Хассан Абдельрхман Ибрахим Абдельмоати Мохамед на тему «Исследование технологии плавки металлизированного сырья с различным содержанием фосфора в ДСП с целью повышения эффективности производства стали», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 - «Металлургия черных, цветных и редких металлов»

Актуальность темы диссертации. Возрастающей объём производства металлизированного сырья в мире, составивший в 2014 году 73 млн. тонн, вызывает необходимость использования для получения металлизированных окатышей (МОК) и горячебрикетированного железа (ГБЖ) не только чистых руд, но и руд с повышенным содержанием фосфора. При этом концентрация фосфора в окатышах и брикетах повысилась в настоящее время с 0,01% до 0,06 и даже 0,15%. Однако исследования по технологии плавки металлизированного сырья с различным содержанием фосфора в современных высокомоощных дуговых сталеплавильных печах (ДСП) проводятся весьма ограниченно, что не позволяет получать ответы на ряд проблемных вопросов. Развитие исследований в этом направлении позволит повысить эффективность производства стали при использовании более дешёвого металлизированного сырья с повышенным содержанием фосфора и увеличить объём его производства. Решение проблемы дефосфорации при использовании в плавке высокофосфористого металлизированного сырья в виде окатышей и ГБЖ в различных долях в шихте и способах загрузки в ДСП требует дополнительного тщательного теоретического и экспериментального анализа полноты протекания процесса дефосфорации.

Научная новизна работы. Изучены особенности процесса дефосфорации при выплавке стали в высокомоощной дуговой печи с использованием высокофосфористого металлизированного сырья. Установлено, что одновременно с процессом удаления фосфора протекает процесс рефосфорации вследствие восстановления фосфора из шлака при непрерывной подачи углеродсодержащих материалов, необходимых для формирования пенистого шлака, экранирующего мощные электрические дуги. При этом рефосфорации получает значительное развитие при избыточном количестве углерода, поступающего на шлак. Показано, при плавке стали с использованием высокофосфористого металлизированного сырья (в отличие от плавки с использованием только лома) реакция дефосфорации далека от равновесия. Степень достижения равновесия при этом составляет 0,1-0,4, а при плавке лома она близка к 1,0. Установлена количественная зависимость процесса дефосфорации от основных технологических параметров при использовании МОК и ГБЖ с повышенным содержанием фосфора и увеличенным расходом углеродсодержащих материалов (молотого и кускового кокса). Для эффективной дефосфорации содержание FeO в шлаке должно составлять 25-30 %, основность шлака 2,5 – 3,0, температура металла не более 1635°C. Установлено, что при непрерывной загрузке

металлизированного сырья с повышенным содержанием фосфора (0,061%) использование в шихте МОК более эффективно, чем ГБЖ, обеспечивая в 1,5 - 2,0 раза более низкое содержание фосфора в металле перед выпуском из печи.

Практическая значимость работы. Определены оптимальные термодинамические и технологические параметры процесса дефосфорации в высокомошной ДСП с использованием различных долей высокофосфористого металлизированного сырья (МОК и ГБЖ). Предложена усовершенствования технология плавки стали в высокомошной дуговой печи ДСП - 220 с использованием металлизированного сырья с повышенным до 0,061% содержанием фосфора. Эта технология предусматривает применение при непрерывной загрузке только МОК. При необходимости использовать ГБЖ (0,061% Р) предложено загружать его в корзины вместе с ломом в количестве 20-25% от массы шихты. Применение рекомендуемой технологии обеспечит снижение содержания фосфора в полупродукте перед выпуском из печи в 1,5 раза, уменьшение расхода электроэнергии на 34 кВт·ч/т, время под током на 10 мин и повышение выхода годного на 4%.

Достоверность результатов работы подтверждена достаточно большим массивом заводских экспериментальных данных (208 плавов), подвергнутых современным методам физико-химического анализа и статистической обработки, что позволило сделать обоснованные выводы.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. Она изложена на 134 страницах машинописного текста, содержит 77 рисунков, 24 таблицы и 3 приложения. Список использованной литературы включает 90 наименований отечественных и зарубежных авторов.

В первой главе приведен обстоятельный аналитический обзор по тематике исследования. Рассмотрены особенности дефосфорации при выплавке стали с использованием металлизированного сырья (МОК и ГБЖ) в дуговых сталеплавильных печах (ДСП). Приведены известные рекомендации по оптимальному режиму дефосфорации при плавке низкофосфористых металлизированных окатышей в высокомошных ДСП. Однако для плавки стали с использованием металлизированного сырья с высоким содержанием фосфора и углерода (~1,5%) условия для осуществления оптимальной дефосфорации не определены. По мнению автора, при плавке таких окатышей и ГБЖ возможно протекание процесса восстановления оксида фосфора (P_2O_5) углеродом, растворенным в металлической ванне, находящимся в составе губчатого железа, а также присаживаемым с коксом и порошкообразным углеродом. Следовательно, одновременно с дефосфорацией возможен процесс рефосфорации. Отмечено, что в литературе процесс рефосфорации обычно объясняется повышением температуры и понижением основности шлака. Влияние углерода на процесс дефосфорации практически не рассматривается. Поэтому особенно важно при плавке в высокомошной ДСП с использованием высокофосфористых окатышей и ГБЖ исследовать развитие процесса рефосфорации, обусловленного восстановлением оксида фосфора растворенным в металле углеродом, а также углеродом кокса и порошкообразного графита (угля), присаживаемого на поверхность шлака для его вспенивания. Отмечено, что влияние способа загрузки

металлизированного сырья (порционная и непрерывная) на развитие процесса рефосфорации также не исследовано и в литературе не представлено. Кроме того, в ранее проведенных работах нет сравнения МОК и ГБЖ по их влиянию на ход плавки, включая процесс дефосфорации. Поэтому автор ставит также задачу проведения сравнительного исследования влияния на процесс дефосфорации и технико-экономические показатели плавки отдельно окатышей и ГБЖ при условии их непрерывной и дискретной (корзинами) подачи в ДСП.

На основе проведенного анализа литературных данных автор целью своей диссертационной работы поставил исследование и совершенствование технологии плавки стали в высокомошной ДСП с использованием металлизированного сырья (МОК и ГБЖ) с различным содержанием фосфора при порционной и непрерывной подаче этого сырья. Сформулированные задачи для выполнения поставленной цели считаю достаточно обоснованными.

Вторая глава посвящена методике исследования технологии выплавки стали в ДСП-220 на заводе EZZ Flat Steel с использованием металлизированного сырья с повышенным содержанием фосфора (0,061%). Базовая технология плавки включает загрузку двух корзин шихты, состоящей из лома, металлизированных окатышей (до 30%) и кускового кокса. После расплавления шихты шлак удаляют и через отверстие в своде осуществляют непрерывную загрузку МОК и ГБЖ, извести и кокса.

Последующий период рафинирования металла включает повышение его температуры от 1560-1580 °С до температуры выпуска из печи 1630- 1670 °С и получение требуемых низких содержаний фосфора. Эти задачи решаются за счёт продувки ванны кислородом с интенсивностью 0,5-0,6 м³/т·мин и присадок извести до 7кг/т. На шлак через инжекторы подают порошок кокса до 1,0 тонны. Автор отмечает, что в этот период печь обычно отключена. При этом не ясно, зачем подавать порошок кокса, который обычно применяется для вспенивания шлака с целью экранизации мощных электрических дуг.

Полученный массив из 208 плавов был подвергнут анализу и обработке с целью изучения поведения фосфора при использовании высокофосфористого металлизированного сырья в составе шихты ДСП-220. Состав шлака и металла определяли современными методами анализа; полученные при этом результаты не вызывают сомнений в их достоверности.

Третья глава посвящена анализу процесса дефосфорации при выплавке стали из металлизированного сырья с повышенным содержанием фосфора. Выполненный автором баланс фосфора свидетельствует о том, что при доле металлизированного сырья более 35% оно является основным источником фосфора. Показано, что увеличение количества металлизированного сырья с 26 до 65% приводит к росту содержания фосфора в металле перед выпуском плавки из ДСП с 0,005 до 0,015%. При этом степень удаления фосфора значительно уменьшается, причем она заметно ниже при непрерывной загрузке ГБЖ (83%), чем при подаче окатышей (93%). При плавке стали на шихте из 100% лома фактический коэффициент распределения фосфора между металлом и шлаком ($L_{\text{ф}}$) составляет порядка 100, а при повышении количества металлизированного сырья в шихте до 67% величина $L_{\text{ф}}$ снижается до 10.

Приведенные автором данные показывают, что при плавке стали с использованием в шихте только лома удельный расход извести составляет около 50 кг/т, а при замене лома в шихте на 60% металлизированным сырьём расход извести значительно увеличивается и составляет порядка 80кг/т. Кратность шлака соответственно возрастает от 13 до 23%. Повышение скорости непрерывной загрузки металлизированного сырья также приводит к снижению величины $L_{\text{ф}}$ с 35 до 15, что автор справедливо объясняет особенностями механизма дефосфорации при использовании окатышей и ГБЖ.

Проведенный автором термодинамический анализ показал, что при плавке металлизированного сырья (МОК и ГБЖ) реакция дефосфорации далека от равновесия, степень достижения равновесия составляет 0,1-0,4, тогда как при плавке лома эта величина близка к 1,0. При этом, по мнению автора, дефосфорация происходит не из-за прямого перехода P_2O_5 из окатышей в шлак, а за счет перехода фосфора из них в расплавленный металл, последующего его окисления и перехода в шлак. Установлено, что для успешной дефосфорации необходимо обеспечить следующие условия: содержание FeO в шлаке должно составлять 25-30%, основность шлака 2,5-3,0 и температура металла не более 1635°C. При этом трудно согласиться с автором, что окисление фосфора определяется концентрацией кислорода в металле, а не FeO в шлаке, а также, что его восстановление (процесс дефосфорации) осуществляется преимущественно углеродом, растворенным в металле, а не углеродом кокса, подаваемого на шлак для его вспенивания. Вместе с тем, автор делает совершенно обоснованный вывод о влиянии высокой температуры и необходимости быстрого нагрева металла перед выпуском из печи при минимально возможном количестве шлака для уменьшения количества восстановленного фосфора.

Глава 4 посвящена анализу технологии выплавки стали в ДСП-220 с использованием в шихте металлизированных окатышей и ГБЖ с повышенным содержанием фосфора. Проведенный анализ базовой технологии показал, что при непрерывной загрузке металлизированного сырья в ДСП целесообразно использовать не ГБЖ, а МОК. Это обеспечивает получение более низких (~ в 1,5 раза) концентраций фосфора в полупродукте. Естественно, что более мелкие окатыши, чем брикеты, быстрее растворяются в металле, что приводит к росту $L_{\text{ф}}$ и соответственно степени дефосфорации. Время плавки под током при непрерывной загрузке окатышей на 10-20% меньше, чем при подаче ГБЖ. При увеличении доли металлизированного сырья (50% ГБЖ+50%МОК) с повышенным содержанием фосфора от 0 до 60% расход энергии, время под током и общая продолжительность плавки значительно возрастают.

Показано, что применение металлизированного сырья обеспечивает значительное снижение концентраций меди, хрома, никеля и олова. Их общее содержание снижается примерно в 3 раза вне зависимости от концентрации фосфора.

Глава 5 посвящена анализу процесса дефосфорации при выплавке стали из металлизированного сырья с низким содержанием фосфора и сравнению особенностей этого процесса при плавке с высоким содержанием фосфора. Плавки проводили с использованием в шихте лома и до 25% ГБЖ с содержанием фосфора

0,012%. Шихту загружали тремя корзинами, после проплавления которых производили первое удаление шлака и осуществляли период рафинирования, в ходе которого нагревали металл до заданной температуры за счет электрических дуг и продувки кислородом с последующим частичным удалением шлака. При такой технологии автор отмечает большой разброс концентраций фосфора в металле (от 0,005 до 0,030%). Проведенный анализ зависимости основных характеристик процесса дефосфорации (степени удаления фосфора, коэффициента его распределения $L_{\text{ф}}$, степени достижения равновесия $L_{\text{ф}}/L_{\text{р}}$, кратности шлака) показал, что все эти величины характеризуются нестабильностью результатов. Вероятнее всего это связано с изменением состава шлака под воздействием различного количества вводимого в печь кускового и порошкообразный кокса. Об этом же свидетельствует и отсутствие зависимости $L_{\text{ф}}$ от температуры металла. Автор такое влияние температуры объясняет низкой основностью шлака и значительными изменениями концентрации углерода в металле (0,06-0,32%). Однако, скорее всего влияет не углерод в металле, а углерод вводимого в печь на шлак кокса, который раскисляет шлак, снижая FeO, и восстанавливает фосфор из P_2O_5 в металл. Естественно, что одновременно происходит наблюдаемое увеличение фосфора и углерода в металле. Поэтому предложение автора уменьшить количество вводимого в печь углерода с 3500 до 2000 кг считаю обоснованным. Оно позволило не только стабильно получать в строительной стали необходимое низкое содержание углерода и фосфора, но и заменить низкофосфористое сырье более дешевым высокофосфористым.

Автором предложена усовершенствованная технология плавки стали в высокомошной ДСП-220 с использованием металлизированного сырья, предусматривающая применение при его непрерывной загрузке только МОК. При необходимости использовать ГБЖ предложено загружать его порционно вместе с ломом в количестве 20-25% от массы шихты в каждой корзине. Показано, что в проведенных плавках по такому варианту технологии содержание фосфора в полупродукте снизилось с 0,016-0,008 до 0,008-0,005%, удельный расход электроэнергии уменьшился с 518 до 485 кВт·ч/т, время под током сократилось с 55-66 до 50-55 минут и выход годного повысился на 3-5%. Приведенные данные безусловно характеризуют практическую ценность предложенного варианта технологии.

Диссертация автором написана грамотным техническим языком и хорошо оформлена. Автореферат диссертации и опубликованные по ней научные статьи достаточно полно отражают ее содержание.

Вместе с тем, по данной диссертационной работе имеются следующие замечания:

1. При термодинамическом анализе процесса дефосфорации его реакцию предпочтительнее записывать с участием CaO в шлаке, без которого фосфор слабо удаляется из металла. При этом в уравнении $L_{\text{р}}$ в числителе должна присутствовать мольная доля CaO (X_{CaO}) и коэффициент его активности (γ_{CaO}).

2. В работе не рассмотрены кинетические особенности процесса дефосфорации при использовании в плавке стали металлизированного сырья в условиях его непрерывной подачи. Отсутствие данных об изменении концентрации фосфора и углерода в металле по ходу плавки полупродукта затрудняют выявление истинного механизма рефосфорации, которая вероятнее всего осуществляется преимущественно путем восстановления фосфора из шлака углеродом кокса, а не растворенным в металле углеродом.

3. Вывод автора о необходимости иметь низкое содержание углерода в полупродукте для успешной его дефосфорации является недостаточно обоснованным. Целесообразнее обратить внимание на дальнейшее совершенствование по ходу плавки режима формирования рафинировочного шлака и введения в печь кускового и порошкообразного кокса для его вспенивания.

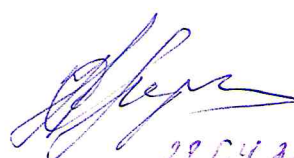
Оценивая выполненную автором диссертационную работу в целом, следует отметить, что сделанные замечания не снижают её научную и практическую значимость.

Заключение

Диссертационная работа Хассан Абдельрхман Ибрахим Абдельмоати Мохамед является завершённой научно-квалификационной работой, выполненной на достаточно высоком научном уровне и имеющей большое практическое значение для совершенствования технологии плавки в современных высокомоощных ДСП с использованием металлизированного сырья с повышенным содержанием фосфора. Она соответствует критериям, установленным Положением «О порядке присуждения ученых степеней», утвержденным Постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24.09.2013г и её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02-«Металлургия черных, цветных и редких металлов»

Официальный оппонент

Доктор технических наук, профессор


28.04.2016 Смирнов Н.А.

ПОДПИСЬ
Проректор
по общим вопросам
НИТУ «МИСиС»

ЗАВЕРЯЮ
НИТУ «МИСиС»



10.05.2016. D212.132.02. 

Приложение к отзыву Смирнова Николая Александровича

Смирнов Н.А.- доктор технических наук по специальности 05.16.02-«металлургия черных, цветных и редких металлов» (ДТ№017355 от 25.12.1992г), защитил диссертацию в МИСиС в 1992г. Профессор по кафедре металлургии стали (ПР№000031 от 20.05.1993г) МГВМИ с 1992 по 2013г, а с 01.09.2013г. переведен на должность профессора кафедры «технологии и оборудование металлургических процессов» Московского государственного машиностроительного университета (МАМИ). Уволился из МАМИ 01.09.2015г по собственному желанию в связи с ликвидацией указанной кафедры в результате изменения структуры университета и истечения срока трудового договора. В настоящее время на пенсии.

Почтовый адрес: 125459 Москва, бульвар Яна Райниса, дом 16, кор 1, кв 161.

Телефон: 8-495-948-28-31 (дом) и +7-916- 387-48-56 (моб).

Список публикаций Н.А.Смирнова за 2011-2015г., близких по теме к диссертации Хассан Абдельрхман Ибрахим Абдельмоати Мохамед.

1. Басов А.В., Магидсон И.А., Смирнов Н.А. Структурные модели оксидных и оксифторидных шлаковых расплавов черной металлургии// Теоретические исследования металлургических процессов. Монография, М: МГВМИ. 2011.- с 190-240.

2. Смирнов Н.А. О внедрении инновационной технологии прямого восстановления железа// Электрометаллургия. -2011.- №4.- С.46-48.

3. Салтанов А.В., Уточкин Ю. И., Смирнов Н.А. Производство железа прямого восстановления// Электрометаллургия.- 2012.- №10.- С.19-24.

4. Басов А.В., Магидсон И.А., Смирнов Н.А. Электропроводность и катионная подвижность некоторых рафинировочных шлаков// Электрометаллургия.- 2014.- №12.- С.24-28.

5. Смирнов Н.А. Рафинирование стали от фосфора и серы вдуванием порошкообразных материалов// Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия».- 2015, том15, №3.- С33-42.

Доктор технических наук, профессор

Смирнов Н.А.

ПОДПИСЬ
Проректор
по общим вопросам
НИТУ «МХ



Отзыв
официального оппонента о диссертации Хассана Абдельрхмана Ибрахима
Абдельмоати Мохамеда «Исследование технологии плавки
металлизированного сырья с различным содержанием фосфора в ДСП с
целью повышения эффективности производства стали», представленной
на соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности 05.16.02 - Metallургия черных, цветных и редких
металлов

1. Актуальность темы диссертации

В настоящее время при выплавке стали в ДСП все чаще в качестве шихтовых материалов используется металлизированное сырье (МОК и ГБЖ). Этому есть две причины. Основная заключается в необходимости повышения качества и служебных свойств стали за счет гарантированно низкого содержания вредных и цветных примесей: фосфора, серы, меди, олова, сурьмы и кобальта. Особенно важно это при производстве сталей для атомного энергетического машиностроения, где их низкое содержание позволяет обеспечить необходимый уровень служебных свойств как до, так и после облучения. Вторая причина связана с экономической целесообразностью применения металлизированного сырья в каждом данном конкретном случае.

Новый вид шихты, отличающийся от обычного лома по своим физическим свойствам и химическому составу требует от сталеплавыльщиков и разработки новых технологий плавки в ДСП. В связи с этим, данная работа, направленная на поиск новых технологических решений, при использовании металлизированной шихты с различным содержанием фосфора, является бесспорно актуальной.

2. Научная новизна диссертационной работы

В работе предложен оригинальный механизм процесса дефосфорации в ходе плавки металлизированного высокоуглеродистого сырья, включающий как непосредственно окисление фосфора оксидами железа или растворенным в металле кислородом, так и восстановление оксидов фосфора углеродом, поступающим из углеродосодержащих материалов, подаваемых на шлак.

Получены количественные зависимости величины коэффициента распределения фосфора и степени достижения его равновесных значений от массы используемого металлизированного сырья.

Показано количественное влияние увеличенного расхода углеродистых материалов, подаваемых на шлак, на конечное содержание в металле фосфора. Установлены необходимые значения окисленности и

основности шлака, а также температуры металла, обеспечивающие оптимальные условия проведения процесса дефосфорации.

Установлено, что при замене ГБЖ на окатыши коэффициент активности оксида железа повышается с 1,5 до 2,6, что позволяет получить более низкие конечные содержания фосфора в полупродукте.

3. Практическая значимость работы

1. Определены оптимальные технологические параметры процесса дефосфорации при использовании высокофосфористого металлизированного сырья (0,061% Р) в ДСП-220, обеспечивающие требуемое содержание фосфора при снижении расхода электроэнергии и повышении выхода годного.

2. Полученные фактические промышленные данные позволяют рекомендовать в условиях EZZ Flat Steel, Египет замену дорогого низкофосфористого ГБЖ (0,012% Р) на более дешевое высокофосфористое (0,061% Р).

4. Достоверность результатов работы

Достоверность результатов подтверждается достаточным количеством экспериментальных данных, полученных непосредственно на промышленной ДСП-220. С помощью современной аналитической аппаратуры определяли составы металла и шлака, температуру металла, активность кислорода в стали. Соискатель широко использовал статистический метод обработки экспериментальных данных. Получены парные корреляционные зависимости коэффициентов распределения фосфора от технологических факторов.

5. Оценка содержания работы

Диссертация состоит из введения, 5-ти глав, заключения, списка литературы из 90 наименований. Диссертация изложена на 134 страницах машинописного текста, содержит 24 таблицы, 77 рисунков и три приложения.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, приведены цель и задачи работы, представлена научная новизна, практическая значимость результатов исследований, а также сведения о достоверности и обоснованности полученных результатов и их публикации в печати.

В первой главе представлен аналитический обзор литературы по тематике исследования. Показано, что химические реакции, отражающие процесс дефосфорации при плавке металлизированного сырья в дуговой печи могут быть различными; при этом механизм процесса требует

уточнения. Показано также, что исследователи обычно изучают процесс дефосфорации при плавке либо низкофосфористых, либо высокофосфористых окатышей, не пытаясь сравнивать особенности этих процессов между собой. На основании анализа литературных данных автором сформулированы задачи исследования.

Во второй главе представлена методика исследования технологии выплавки стали в ДСП-220 на заводе EZZ Flat Steel (массив из 183-х плавов) с использованием металлизированного сырья с повышенным содержанием фосфора (0,061 %).

Для оценки особенности технологии выплавки стали на высокофосфористом металлизированном сырье было проведено 25 плавов, на которых использовалось металлизированное сырьё, содержащее не 0,061% а 0,012 % фосфора.

В третьей главе представлен анализ процесса дефосфорации при выплавке стали из металлизированного сырья с повышенным содержанием фосфора. Показано, что увеличение количества металлизированного сырья в шихте приводит к значительному возрастанию содержания фосфора в полупродукте и снижению степени удаления фосфора.

Установлено, что дефосфорацию металла целесообразно проводить при концентрации углерода в ванне металла 0,045 % и менее, так как при более высоком содержании углерода возможно протекание процесса рефосфорации.

Показано, что для эффективной дефосфорации при плавке металлизированного сырья с повышенным содержанием фосфора необходимо обеспечить содержание оксидов железа в шлаке - 25... 30%; основность шлака - 2,5...3,0 и значение температуры - не выше 1635° С.

В четвертой главе выполнен анализ технологии выплавки стали в ДСП-220 с использованием в шихте металлизированных окатышей и ГБЖ с повышенным содержанием фосфора.

Предложена усовершенствованная технология плавки стали, которая при непрерывной загрузке в печь металлизированного сырья предполагает применение только окатышей. При необходимости использовать ГБЖ предложено загружать его порционно вместе с ломом в количестве 20 - 25 % от массы шихты в каждой корзине.

В пятой главе выполнен анализ технологии выплавки строительной стали с использованием в шихте лома и до 25% ГБЖ с низким содержанием фосфора - 0,012%. При этом наблюдается большой разброс содержаний фосфора (от 0,005 до 0,03 %) и углерода в полупродукте (от 0,05 до 0,3%). Поведение фосфора зависит от концентрации углерода в металле, основности и окисленности шлака так же, как и при плавке металлизированного сырья с повышенным содержанием фосфора.

Эффективность данной технологии с использованием металлизированного сырья предложено повысить за счет оптимизации

процессов дефосфорации и замены низкофосфористого горячебрикетированного железа более дешевым высокофосфористым.

Основное содержание диссертации изложено в 4 публикациях, из них - 2 ваковских публикации. Результаты работы доложены и обсуждены на международных конференциях: 24-й международной конференция по металлургия и материаловедению, город Брно, Чешская Республика и Научно-практической конференции с международным участием и элементами школы молодых ученых «Перспективы развития металлургии и машиностроения с использованием завершенных фундаментальных исследований и НИОКР». Екатеринбург.

Диссертационная работа написана технически грамотно, достаточно наглядно графически оформлена. Автореферат и публикации отражают основное содержание диссертации.

6. По диссертации следует сделать ряд замечаний

1. Недостаточно обосновано допущение о постоянстве массы шлака в ходе процесса дефосфорации и использовании для этого уравнения 3.4.

2. Приведенные на рисунках 3.11, 3.14, 3.15, 3.18 парные корреляционные зависимости коэффициентов распределения фосфора от основных технологических параметров получены при больших разбросах неучитываемых величин. В связи с чем необходимо было провести многофакторный анализ.

3. Соискатель не приводит отдельных составов ГБЖ и МОК, составов шлака при использовании только МОК. Возможно, именно с этим могут быть связаны различия в успешности проведения процесса дефосфорации и повышение выхода годного при использовании только МОК.

4. Не ясно, за счет чего при плавке только лома величина L_{ϕ}/L_p близка к единице, а их абсолютные величины имеют наибольшие значения. Необходимо привести технологию выплавки полупродукта с использованием только лома.

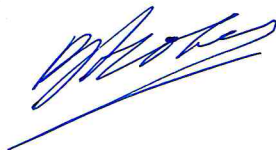
В целом, сделанные замечания не снижают научной и практической значимости диссертационной работы.

7. Заключение

Диссертация Хассана Абдельрхмана Ибрахима Абдельмоати Мохамеда представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным в п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного Правительством Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, в которой содержится решение задачи, имеющей существенное значение для металлургической отрасли, а именно: разработана оптимальная

технология выплавки жидкого полупродукта в большегрузных дуговых печах с использованием металлизированной шихты с различным содержанием фосфора. Ее автор, Хассан Абдельрхман Ибрахим Абдельмоати Мохамед заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 “Металлургия черных, цветных и редких металлов”.

Официальный оппонент,
ведущий научный сотрудник
АО «НПО «ЦНИИТМАШ»,
кандидат технических наук
14 апреля 2016 г.



Владимир Алексеевич Новиков

Подпись В.А. Новикова удостоверяю
Ученый секретарь
АО «НПО «ЦНИИТМАШ»



М.А. Бараненко



28.04.2016 г.

0212.132.02



Сведения об официальном оппоненте

Новиков Владимир Алексеевич – кандидат технических наук по специальности 05.16.02 – Metallurgy черных, цветных и редких металлов.

Место работы – Акционерное общество «Научно-производственное объединение «Центральный научно-исследовательский институт технологии машиностроения».

Должность – ведущий научный сотрудник.

Список основных публикаций.

1. Новиков В.А., Куликов А.П., Новиков С.В. и др. «Исследование и освоение процесса дефосфорации в новой ДСП-120 «ОМЗ-Спецсталь» «Электрометаллургия» №6, 2012 г. стр. 2-6.

2. Новиков В.А., Куликов А.П., Щепкин И.А. и др. «Удаление водорода при внепечной обработке стали на установке внепечного рафинирования и вакуумирования». «Электрометаллургия» №7, 2012 г. стр. 17-19.

3. Новиков В.А., Дуб В.С., Новиков С.В., и др. «Совершенствование технологии раскисления при обработке стали на установке внепечного рафинирования и вакуумирования». «Электрометаллургия» №8, 2012 г. стр. 13-16.

4. Новиков В.А., Царёв В.А., Новиков С.В., и др. «Термодинамические и кинетические особенности процесса десульфурации». «Электрометаллургия» №9, 2012 г. стр. 16-20.

Ученый секретарь
АО «НПО «ЦНИИТМАШ»



М.А. Бараненко



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ (ФАНО РОССИИ)

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

ИНСТИТУТ МЕТАЛЛУРГИИ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

им. А.А. Байкова

Российской академии наук

(ИМЕТ РАН)

119334, Москва, Ленинский пр., 49

Тел. (499) 135-20-60, 135-86-11; факс: 135-86-80

E-mail: imet@imet.ac.ru; <http://www.imet.ac.ru>



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Хассана Абдельрхмана Ибрахима Абдельмоати Мохамеда «Исследование технологии плавки металлизированного сырья с различным содержанием фосфора в ДСП с целью повышения эффективности производства стали», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – «Металлургия черных, цветных и редких металлов»

Фосфор относится к наиболее вредным примесям, снижающим свойства стали. Используемые для получения жидкого полупродукта в дуговых сталеплавильных печах (ДСП) металлизированные окатыши и брикеты могут иметь различное содержание фосфора: от 0,01% (Россия) до 0,06 (Египет) и 0,15% (Индия и Венесуэла). Результаты проведенных в настоящее время исследований по технологии плавки металлизированного сырья с различным содержанием фосфора в ДСП не позволяют ответить на ряд проблемных вопросов, связанных с особенностями протекания процесса дефосфорации. В связи с этим **актуальность темы диссертации** Хассана А.И. не вызывает сомнений, так как она посвящена решению важных проблем технологии плавки в ДСП металлизированного сырья с различным содержанием фосфора.

Содержание диссертационной работы

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, приведены цель и задачи работы, представлена научная новизна, практическая значимость результатов исследований, а также сведения о достоверности и обоснованности полученных результатов и их публикации в печати.

В первой главе представлен аналитический обзор литературы по тематике исследования. Показано, что химизм процесса дефосфорации при плавке металлизированного сырья в дуговой печи интерпретирован неоднозначно и характеризуется рядом нерешенных вопросов. Анализ экспериментальных данных при плавке металлизированного сырья показывает, что в литературе отсутствует

единое мнение о протекании процесса дефосфорации при использовании высоко- и низкофосфористого металлизированного сырья. Обычно авторы анализируют процесс дефосфорации при плавке либо низкофосфористых, либо высокофосфористых окатышей, не пытаясь сравнивать особенности этих процессов.

Во второй главе приведена методика исследования технологии выплавки стали в ДСП-220 на заводе EZZFlatSteel с использованием металлизированного сырья с повышенным содержанием фосфора (0,061 %).

В третьей главе представлен анализ процесса дефосфорации при выплавке стали из металлизированного сырья с повышенным содержанием фосфора – 0,061%. Показано, что увеличение количества металлизированного сырья в шихте с 26 до 65% приводит к возрастанию концентрации фосфора в полупродукте с 0,005 до 0,015% и соответственно снижению степени удаления фосфора.

Установлено значительное влияние содержания углерода в металлической ванне на концентрацию фосфора в металле и на величину коэффициента распределения фосфора между шлаком и металлом.

Показано, что для эффективной дефосфорации при плавке металлизированного сырья с повышенным содержанием фосфора необходимо обеспечить следующие условия: содержание оксидов железа в шлаке должно составлять 25...30%; основность шлака 2,5...3,0, температура не выше 1635°C.

В четвертой главе выполнен анализ технологии выплавки стали в ДСП-220 с использованием в шихте металлизированных окатышей и горячебрикетированного железа (ГБЖ) с повышенным содержанием фосфора. Предложена усовершенствованная технология плавки стали в высокомошной ДСП-220 с использованием металлизированного сырья. Технология предполагает применение при непрерывной загрузке только металлизированных окатышей. При необходимости использовать ГБЖ предложено загружать его порционно вместе с ломом в количестве 20–25% от массы шихты в каждой корзине.

В пятой главе выполнен анализ технологии выплавки стали строительного сортамента с использованием в шихте лома и до 25% ГБЖ с низким содержанием фосфора (0,012%), загружаемого вместе с ломом. При этом наблюдается большой разброс содержания фосфора (от 0,005 до 0,03%) и углерода в полупродукте (от 0,05 до 0,3%). Поведение фосфора зависит от концентрации углерода в металле, основности и окисленности шлака так же, как и при плавке металлизированного сырья с повышенным содержанием фосфора.

В результате проведенных исследований автором диссертационной работы Хассаном А.И. получены следующие **новые научные результаты**:

1) Показано, что в процесс дефосфорации в ходе плавки металлизированного сырья в ДСП имеет место процесс рефосфорации. Рефосфорация получает развитие при избыточном количестве углерода, поступающем с углеродосодержащими материалами (металлизированные окатыши, ГБЖ и кокс).

2) Получена количественная зависимость, отражающая влияние массы непрерывно загружаемого металлизированного углеродсодержащего сырья на

коэффициент распределения фосфора. С ростом массы металлизированного сырья от 0 до 100 т коэффициент распределения фосфора снижается (с 40 до 15), что связано с уменьшением концентрации кислорода в объёме металла с 0,10% при плавке лома до 0,06% при подаче углеродсодержащих материалов на поверхность шлака.

3) Показано что, при плавке высокофосфористого металлизированного сырья (в отличие от плавки лома) реакция окисления фосфора оксидом железа, содержащимся в шлаке, не достигает равновесия. Степень достижения равновесия составляет 0,1–0,4; при плавке лома она близка к единице.

4) Установлены условия эффективной дефосфорации металла при плавке металлизированного сырья: содержание оксидов железа в шлаке должно составлять 25...30 %; основность шлака 2,5...3,0; температура не выше 1635°C.

Обоснованность научных результатов не вызывает сомнений, так как они получены с учётом современной теории и практики выплавки стали с использованием металлизированных окатышей и ГБЖ и основаны на детальном физико-химическом анализе большого массива экспериментальных данных (208 плавок), полученных при плавке высоко- и низкофосфористого металлизированного сырья в ДСП-220.

Практическая значимость диссертационной работы заключается в разработке рекомендаций по усовершенствованию технологии плавки стали с использованием металлизированного сырья с повышенным содержанием фосфора в дуговой печи ДСП-220 металлургического завода EZZFlatSteel (Египет).

По диссертационной работе работы имеются следующие **замечания**:

1) В диссертации рассматривается поведение фосфора при выплавке полупродукта в ДСП из металлизированного сырья. В тоже время в работе не рассмотрен вопрос дальнейшего поведения фосфора в ходе выпуска и внепечной обработки стали.

2) В работе отсутствует информация о количестве окислительного шлака, попадающего в сталеразливочной ковш при выпуске металла из печи, и о содержании фосфора в нем.

3) В работе было бы полезно привести расчёт экономического эффекта по замене ГБЖ (стандартная технология) на металлизированные окатыши с повышенным содержанием фосфора (новая технология).

Диссертация написана технически грамотным языком, оформлена в соответствии с действующими нормативами. Автореферат диссертации соответствует её содержанию.

Диссертация состоит из пяти глав, заключения, библио-графического списка из 90 источников и приложений.

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 2-х печатных работах в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК для публикации материалов диссертационных работ, и достаточно полно отражают основное содержание диссертации.

Заключение

Несмотря на имеющиеся замечания, представленная диссертация является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему и обладающей внутренним единством, и соответствует специальности 05.16.02 «Металлургия черных, цветных и редких металлов».

Диссертационная работа Хассана Абдельрхмана Ибрахима Абдельмоати Мохамеда отвечает требованиям ВАК РФ в части п. 9 Положения о присуждении ученых степеней (утверждено постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842), в которой содержится решение задач, имеющих большое значение для металлургической отрасли народного хозяйства. В частности, для предприятий производственного сектора экономики страны, использующих технологии плавки стали в дуговой печи с применением в шихте металлизированного сырья – Оскольский электрометаллургический комбинат, Выксунский металлургический завод, металлургический завод EZZFlatSteel в Египте. Результаты диссертации могут быть использованы в практике проведения НИР ряда научных и образовательных организаций: ИМЕТ им А.А. Байкова РАН, Цниичермет им. И.П. Бардина, ЦНИИТМАШ, НИТУ «МИСиС», Таббинский институт металлургических исследований (TIMS, Египет) и ряде других. Автор диссертационной работы «Исследование технологии плавки металлизированного сырья с различным содержанием фосфора в ДСП с целью повышения эффективности производства стали» **Хассан Абдельрхман Ибрахим Абдельмоати Мохамед** заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 «Металлургия черных, цветных и редких металлов».

Доклад по диссертационной работе заслушан и обсуждён на расширенном коллоквиуме лаборатории физикохимии металлических расплавов им. академика А.М. Самарина и лаборатории диагностики материалов. За предложенное заключение проголосовали единогласно. Протокол № 2 от 1 апреля 2016 г.

Председатель коллоквиума
заведующий лабораторией
физикохимии металлических расплавов
им. академика А.М. Самарина
Института металлургии и
материаловедения им. А.А. Байкова РАН
доктор техн. наук



Дашевский В.Я.

Ученый секретарь коллоквиума
старший научный сотрудник
лаборатории диагностики материалов
кандидат техн. наук



Алпатов А.В.

10.05.2016 г. D 212.132.02 

Сведения о ведущей организации

по диссертации Хассан Абдельрхман Ибрахим Абдельмоати Мохамед
«Исследование технологии плавки металлизированного сырья с различным содержанием фосфора в ДСП с целью повышения эффективности производства стали» по специальности 05.16.02 – «Металлургия черных, цветных и редких металлов» на соискание ученой степени кандидата технических наук

Полное наименование организации в соответствии с уставом	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А.Байкова Российской академии наук
Сокращенное наименование организации в соответствии с уставом	ИМЕТ РАН
Место нахождения	г. Москва
Почтовый индекс, адрес организации	119334, г. Москва, Ленинский пр., 49
Телефон	+7 (499) 135-20-60, 135-86-11; факс: 135-86-80
Адрес официального сайта в сети «Интернет»	http://www.imet.ac.ru
E-mail	imet@imet.ac.ru
Список основных публикаций работников ведущей организации по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет	
1.	Бурцев В.Т., Анучкин С.Н., Сидоров В.В., Ригин В.Е. Исследование дефосфорации сложнолегированных расплавов никеля в условиях вакуумной индукционной плавки: термодинамика процесса дефосфорации // Металлы 2013, №1, с. 19-23
2.	Леонтьев В.Г., Брюквин В.А. Восстановление шлаковых расплавов в режиме вспенивания // Цветные металлы 2012, №12, с. 48-50
3.	Дорофеев Г.А., Ерофеев В.А., Протопопов А.А., Леонтьев Л.И., Дашевский В.Я., Маленко П.П. Разработка метода анализа сложных физико-химических явлений процесса ORIEN в электродуговой сталеплавильной печи энергометаллургического комплекса // Известия Тульского государственного университета. Технические науки, 2013, № 10, с. 3-18
4.	Бурцев В.Т. Сульфидная ёмкость шлаков традиционного и нетрадиционного составов // Проблемы чёрной металлургии и материаловедения 2011, №4, с. 5-11
5.	Леонтьев В.Г., Брюквин В.А., Дюбанов В.Г., Бурцев В.Т. Технологическое обоснование организации переработки цинкосодержащих шлаков в печах постоянного тока // Чёрная металлургия 2012, № 10 (1354), с. 89-93
6.	Александров А.А., Дашевский В.Я. Термодинамика растворов кислорода в расплавах системы Fe-Co, содержащих кремний // Металлы, 2013, № 6, с. 21-25
7.	Шильников Е.В., Алпатов А.В., Падерин С.Н. Активность кислорода в металле при окислительном рафинировании высоколегированной стали // Электрометаллургия 2013, №7, с. 25-31
8.	Дашевский В.Я., Юсфин Ю.С., Александров А.А., Подгородецкий Г.С., Губанов В.И. Обезуглероживание расплава марганца // Известия вузов. Черная металлургия, 2012, № 7, с. 15-18
9.	Шильников Е.В., Алпатов А.В., Падерин С.Н. Термодинамический анализ поведения кислорода при внепечной обработке высоколегированной стали 08X18H10T // Известия вузов. Черная металлургия, 2013, № 11, с. 19-24
10.	Макаров М.А., Александров А.А., Дашевский В.Я. Влияние водорода на процесс десульфурации железа порошкообразным флюсом // Известия вузов. Черная металлургия, 2015, № 7, с. 538-539

Председатель коллоквиума лаборатории
физикохимии металлических расплавов
им. академика А.А. Самарина
ИМЕТ РАН, д.т.н.

Дашевский В.Я.

В. Я. Дашевский
Г. А. Кочеткина