

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР



«Центральный научно-
исследовательский институт
черной металлургии
им. И.П. Бардина»

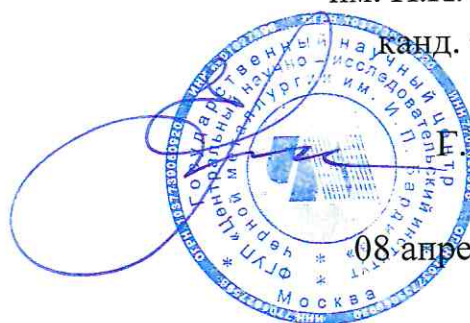
ГНЦ ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина»

105005, г. Москва, ул. Радио, д. 23/9, стр. 2
Тел.: +7 (495) 777-93-01; факс: +7 (495) 777-93-00
e-mail: chermet@chermet.net
www.chermet.net

Первый заместитель
Генерального директора
ГНЦ ФГУП «ЦНИИчермет
им. И.П. Бардина»,
канд. техн. наук

Е.Н. Еремин

08 апреля 2024 г.



« » 20 год №
на № от

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Подкура Сергея Валерьевича

**«Исследование влияния технологии производства стали и климатических
условий на поведение водорода с целью повышения выхода годного»,**
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности

2.6.2 – «Металлургия черных, цветных и редких металлов»

В диссертационный совет НИТУ МИСИС.

Об актуальности темы диссертации

Отрицательное влияние водорода на эксплуатационные свойства стального проката и труб в целом известно. Известны также технологические приемы, ограничивающие растворение водорода в жидкой стали. В технологических инструкциях и регламентах для этого повсеместно вводятся ограничения на содержание влаги в шихтовых, шлакообразующих, легирующих и огнеупорных материалах.

Текущие значения температуры воздуха, его влажности, наличие атмосферных осадков и значения точки росы, объединяемые понятием «погода», влияют на поглощение материалами, используемыми в процессе выплавки и внепечной обработки стали, влаги из атмосферы. Это приводит к увеличению концентрации водорода в стали. В связи с этим, флокеночувствительные стали

для удаления водорода подвергают вакуумированию. Это является общепринятой практикой.

Поведение водорода в жидкой стали и в затвердевающих слитках и заготовках в настоящее время изучается многими исследователями. Вопросы механизма влияния водорода на образование в стали дефектов не все еще разрешены. В этом смысле, часть диссертационной работы, посвященная взаимодействию водорода с неметаллическими включениями в жидкой стали, является актуальной.

Кроме того, предполагаемая «зеленая трансформация» производства стали, основанная на использовании водорода в качестве восстановителя вместо углерода, повышает актуальность исследований поведения водорода при производстве стали и эксплуатации стальных изделий.

Научная новизна исследований, полученных результатов и выводов

1. На основе экспериментальных исследований установлено, что между ростом влажности шлакообразующей смеси и уровнем загрязненности стали первичными оксидными неметаллическими включениями, существует устойчивая, практически линейная, связь. Для углеродистой стали, раскисленной кремнием и алюминием, разработаны соответствующие математические модели, позволяющие прогнозировать объемную долю первичных оксидных неметаллических включений в металле в зависимости от массы влаги, внесенной шлакообразующей смесью.

2. В результате физико-химического анализа и экспериментального исследования установлено, что в условиях вакуума содержащийся в стали водород совместно с углеродом способен частично восстанавливать включения на основе Al_2O_3 .

3. Получена зависимость концентрации водорода в невакуумированной низколегированной стали на этапе разлива от содержания оксидов железа в шлаке и концентрации кислорода в металле при выплавке полупродукта в дуговой печи. Установлено, что наиболее низкие концентрации водорода достигаются в том случае, когда содержание кислорода в стали близко к равновесию с концентрацией оксидов железа в шлаке.

4. Показано, что увеличение остатка жидкого металла в дуговой печи при выплавке полупродукта способствует снижению концентрации водорода в получаемой стали. Это объясняется общим понижением активирующего

влияния дуги по отношению к влаге воздуха за счет сокращения длительности работы печи под током при увеличении массы остатка жидкого металла.

5. Предложен расчетный параметр, равный равновесной со сталью общей массе неметаллических включений и газов, выделяющихся из струи металла, протекающей через погружной сталеразливочный стакан. С помощью этого параметра можно прогнозировать уровень общей отсортировки металлопродукции по основным дефектам (пузырь-вздутие, плена, сетчатые трещины, УЗК-дефекты).

Практическая значимость полученных результатов

1. С использованием полученных в работе моделей можно оценивать количество оксидной неметаллической фазы в матрице получаемого металла в зависимости от количества влаги, вступившей с ним во взаимодействие.

2. Полученные количественные зависимости содержания водорода в невакуумированной стали от массы жидкого остатка, а также содержаний кислорода в металле и оксидов железа в шлаке на этапе выплавки полупродукта в дуговой печи позволяют получать сталь с низким содержанием водорода без использования обработки вакуумом.

3. С использованием моделей, прогнозирующих уровень отсортировки проката, разработана программа ЭВМ «H₂O-Steel» (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022614004 (в реестре программ для ЭВМ от 16 марта 2022 г.)). Программа позволяет корректировать технологию выплавки стали таким образом, чтобы с учетом химического состава металла, типа получаемого продукта, технологии и складывающихся погодных условий прогнозировать уровень отсортировки по различным группам дефектов и рекомендовать оптимальный план выплавки стали.

Практическую значимость подтверждают документы об использовании рекомендаций по совершенствованию технологии выплавки стали с предприятий:

– АО «Волжский трубный завод». Отзыв на материалы по диссертационному исследованию Подкура С. В.: Совершенствование технологии выплавки трубной марки стали в условиях АО «Волжский трубный завод».

– АО «Оскольский завод металлургического машиностроения». Справка об использовании рекомендаций по совершенствованию технологии выплавки

стали S355J2G3N, разработанных в диссертационном исследовании Подкура С. В.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Полученные в работе научные и практические результаты следует рекомендовать к использованию на предприятиях, имеющих возможность корректировать последовательность и время плавок с учетом меняющиеся погодных условий. К таким предприятиям относятся металлургические, литейные и машиностроительные заводы. Диапазон выплавляемых ими марок стали широк, что позволит использовать адаптивность сортамента как дополнительное преимущество в рамках концепции, предлагаемой в диссертационном исследовании. Следует отметить, что уже ряд заводов, как видно из текста диссертации, планируют воспользоваться рекомендациями данной работы.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и заключений

Научные положения и выводы, сформулированные в диссертации, достаточно обоснованы и экспериментально проверены. Достоверность и обоснованность результатов диссертационной работы подтверждаются большим объемом промышленных данных, их корректной обработкой и сравнительным анализом с современной литературой, применением широкого спектра современного аналитического оборудования.

Оценка структуры и содержания диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, общих выводов, списка использованных источников из 193 наименований и 3 приложений. Работа изложена на 191 странице машинописного текста, содержит 107 рисунков, 33 таблицы.

Во введении приводится обоснование актуальности работы, формулируются цель, задачи, научная новизна и практическая значимость проводимого исследования. Приведены положения, выносимые на защиту, апробация работы и список публикаций автора.

В первой главе представлен литературный обзор проблемы влияния технологических и климатических факторов, влияющих на качество получаемой стали. Показано, что вопрос влияния влажности шлакообразующей смеси на загрязненность стали оксидными неметаллическими включениями недостаточно изучен. Представлены теоретические термодинамические предпосылки возможного восстановления включений на основе SiO_2 и Al_2O_3 водородом совместно с углеродом. Выполнен литературный анализ влияния режима выплавки полупродукта на концентрацию водорода в стали.

В главе сформулированы цель исследования и его задачи, заключающиеся в изучении технологических факторов, влияющих на поведение водорода и выход годного при производстве стали в зависимости от погодных и климатических условий.

Во второй главе описаны материалы, оборудование и методики исследования. Отмечается, что основной объем исследований был выполнен на основе больших массивов данных (более 11 тыс. плавов за 2015-2020 гг.) выплавки и разливки низколегированной стали с содержанием углерода 0,035-0,310 % в условиях кислородно-конвертерного цеха ПАО «НЛМК» и литейно-прокатного комплекса АО «ОМК». Также была выполнена серия из пяти лабораторных плавов стали в печи Таммана с обработкой шлакообразующей смесью различной влажности.

В главе представлен состав измерительного оборудования, использованного при выполнении работы, описана методика работы с ним. Указаны основные технологические параметры, учтенные в исследовании. Отмечены программные средства, которые были применены для анализа имеющихся данных с использованием статистических и термодинамических расчетов. Описана методология исследования рассматриваемой проблемы.

В третьей главе на основе экспериментальных исследований установлено, что между ростом влажности шлакообразующей смеси и уровнем загрязненности стали первичными оксидными неметаллическими включениями, существует устойчивая, практически линейная, связь. Для углеродистой стали, раскисленной кремнием и алюминием, разработаны соответствующие математические модели, позволяющие прогнозировать объемную долю первичных оксидных неметаллических включений в металле в зависимости от массы влаги, внесенной шлакообразующей смесью.

В четвертой главе получена зависимость концентрации водорода в невакуумированной низколегированной стали на этапе разливки от содержания оксидов железа в шлаке и концентрации кислорода в металле при выплавке

полупродукта в дуговой печи. Установлено, что наиболее низкие концентрации водорода достигаются в том случае, когда содержание кислорода в стали близко к равновесию с концентрацией оксидов железа в шлаке. Показано, что увеличение остатка жидкого металла в дуговой печи при выплавке полупродукта способствует снижению концентрации водорода в получаемой стали. Это объясняется общим понижением активирующего влияния дуги по отношению к влаге воздуха за счет сокращения длительности работы печи под током при увеличении массы остатка жидкого металла.

В пятой главе предложен расчетный параметр, равный равновесной со сталью общей массе неметаллических включений и газов, выделяющихся из струи металла, протекающей через погружной сталеразливочный стакан. С помощью этого параметра можно прогнозировать уровень общей отсортировки металлопродукции по основным дефектам (пузырь-вздутие, плена, сетчатые трещины, УЗК-дефекты).

Представлены основные выводы и результаты работы.

Объем и содержание диссертационной работы по степени научной новизны и практической значимости удовлетворяет требованиям ВАК Российской Федерации, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Анализ содержания диссертационной работы убеждает в её завершенности. Содержание диссертации изложено грамотно, в логической последовательности, а стиль изложения соответствует общепринятым нормам.

Анализ содержания диссертации, опубликованных работ, в том числе работ, опубликованных в соавторстве, показал, что все научные результаты, выносимые на защиту, выводы и рекомендации принадлежат соискателю.

Соответствие автореферата основным положениям диссертации

Автореферат отражает содержание диссертации, результаты которой достаточно полно освещены в научно-технических изданиях.

Подтверждение основных результатов диссертации в научной печати

Основные положения диссертационной работы опубликованы в 15 печатных работах, из которых 4 работы в изданиях, входящих в перечень ВАК РФ (3 – в базах Web of Science/Scopus) и 1 – свидетельство о регистрации программы для ЭВМ, и в полной мере отражают её содержание. Диссертационная работа имеет согласованность результатов работы с

экспериментальными данными, опубликованными в научной литературе, отсутствует заимствование материала без библиографической ссылки.

Замечания

По диссертационной работе Подкура Сергея Валерьевича, выполненной на достаточно высоком уровне, имеются следующие замечания:

1. Вместо термина «климатические условия», характеризующие среднюю температуру, влажность и количество осадков за длительные периоды, следовало использовать термин «погодные условия».

2. В современной технологии выплавки полупродукта стали в ДСП влияние влажности шихты и других материалов, загружаемых в печь, на качество полупродукта незначительно. Мало того, в подсводовое пространство ДСП по ходу плавки подается вода для спреерного охлаждения электродов. Ссылка на работу А.Н. Морозова от 1968 г. не актуальна.

3. Организация кипения ванны в ДСП методом окисления углерода, добавляемого в шихту, преследует цель интенсификации тепло- и массообменных процессов в ней, а не дегазацию металла.

4. В описании результатов лабораторных экспериментов следовало привести не только значение коэффициента детерминации R^2 , но и величину значимости F , а также значение стандартной ошибки, тем более, что в MS Excel эти величины рассчитываются автоматически.

5. В лабораторных плавках исследовалось влияние влажности трехкомпонентной смеси окислов CaO , SiO_2 и Al_2O_3 на содержание $[\text{H}]$, $[\text{O}]$ и неметаллических включений в образцах армко железа после выдержки при температуре около 1550°C . При этом указанная смесь окислов обозначается аббревиатурой «ШОС». Следует обратить внимание автора диссертации, что такой аббревиатурой в практике и литературе обозначают специально приготовленные материалы, используемые при непрерывной разливке стали. Они имеют, во-первых, более сложный состав, чем использованная в экспериментах смесь, а во-вторых, изготавливаются по технологии, включающую измельчение, сушку, смешение, грануляцию и окончательную сушку. Таким образом изготовленные ШОС впитывают значительно меньше влаги из атмосферы, чем CaO . Поэтому используемая методика проведения лабораторных плавки скорее моделирует обработку стали в ковше, при которой применяются шлаки, по составу подобные смеси окислов, использованной в описываемых экспериментах.

6. В ходе исследования автором установлено наличие некоторого оптимального соотношения углерода и водорода в стали на этапе промковша УНРС, обеспечивающее минимальный уровень отсортировки непрерывнолитой стали. При этом также утверждается, что влияние оказывает парциальное давление паров воды в атмосфере в момент выплавки и разлива металла. Не вполне ясно, координаты полученного «оптимума» являются статичными или меняются при смене климатических условий предприятия?

Указанные замечания не снижают общую положительную оценку диссертационной работы, не влияют на основные научные и практические результаты и не затрагивают основных результатов, вынесенных соискателем на защиту.

Заключение

В диссертационной работе Подкура Сергея Валерьевича «Исследование влияния технологии производства стали и климатических условий на поведение водорода с целью повышения выхода годного» проведена разработка предложений по корректировке современной технологии выплавки и разлива низколегированной стали, опирающихся на физико-химическое и статистическое исследование процессов, протекающих при взаимодействии системы «металл-шлак» с окружающей средой, которые должны обеспечить повышение выхода годного металла.

Диссертация является самостоятельной законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научно-технической задачи в области влияния технологии производства стали и климатических условий на поведение водорода и выход годного металла.

Работа является актуальной, полученные результаты обладают научной новизной, обоснованы на современном научном уровне, описывают законченный этап исследований. Достоверность изложенных в диссертации результатов подтверждается использованием современных методик исследования, применением статистической обработки.

Диссертационная работа соответствует специальности 2.6.2 – «Металлургия черных, цветных и редких металлов».

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации и в необходимом объеме отражает её основные результаты и выводы. Результаты работы достаточно полно освещены в научных изданиях.

Текст диссертации не содержит заимствованного материала без ссылки на автора и (или) источника заимствования.

Таким образом, диссертация «Исследование влияния технологии производства стали и климатических условий на поведение водорода с целью повышения выхода годного», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований изложены новые научно обоснованные технологические решения в области влияния технологии производства стали и климатических условий на поведение водорода и выход годного металла, что соответствует требованиям п.2 «Положения о порядке присуждения ученых степеней в НИТУ МИСИС» П 710.05-22 от 17 марта 2022 г., предъявляемым к диссертациям на соискание ученых степеней, а её автор Подкур Сергей Валерьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.2 – «Металлургия черных, цветных и редких металлов».

Отзыв обсужден и одобрен на заседании Научного центра металлургических технологий ЦНИИчермет им. И.П. Бардина, на котором присутствовали три доктора техн. наук и пять кандидатов техн. наук, а также сотрудники Центра. Голосовали – единогласно «За» (протокол №1 от 14.03.2024 г.)

Директор НЦМТ, д.т.н.

А. В. Куклев

Ученый секретарь НЦМТ, к.т.н.

Я.Л. Кац

Подпись руки А.В. Куклева и Я.Л. Кац заверяю:

Ученый секретарь ЦНИИчермет им. И.П. Бардина, к.т.н.

Т. И. Москвина

Государственный научный центр Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии им. И. П. Бардина», 105005, г. Москва, ул. Радио, д. 23/9, стр. 2

Электронная почта: chermet@chermet.net

Адрес в сети интернет: <https://www.chermet.net>

Телефон: +7 495 777-93-01

