



ЦНИИТМАШ
РОСАТОМ

Государственный научный центр
Российской Федерации
Акционерное общество
«Научно-производственное объединение
«Центральный научно-исследовательский
институт технологии машиностроения»
(ГНЦ РФ АО «НПО «ЦНИИТМАШ»)

ул. Шарикоподшипниковская, д. 4, к. 1А
Москва, 115088

Телефон (495) 675-83-01, факс (495) 674-21-96

E-mail: cniitmash@cniitmash.com

ОКПО 00212179, ОГРН 1067746376070

ИНН 7723564851, КПП 772301001

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор
АО «НПО» ЦНИИТМАШ»,
докт. техн. наук

В.В. Орлов

2025 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Муратова Евгения Владиславовича

**«Совершенствование технологии производства коррозионностойкой стали,
включающей вакуум-кислородное рафинирование»,**

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности 2.6.2 – «Металлургия черных, цветных и редких металлов»

В Диссертационный совет НИТУ МИСИС

Актуальность темы диссертации

Одной из наиболее значимых инноваций при производстве стали в дуговых электропечах является использование остатка металла после выпуска полупродукта из ДСП. При выплавке низколегированных сталей такой остаток обеспечивает ускорение плавления, снижение расхода электроэнергии, повышение технико-экономических показателей. В этом случае используются печи с эркерным выпуском вместо желоба. В то же время применение такой печи при выплавке высоколегированных нержавеющей сталей может спровоцировать появление нежелательного остатка металла от предыдущей плавки. Степень влияния такого остатка на характер плавки и её технико-экономические показатели к настоящему времени не изучены. При этом, как правило, оставшийся в печи металлический расплав не содержит значимого количества легирующих элементов и может быть использован как полупродукт для производства подавляющего сортамента низколегированных марок стали. Доводка стали до требуемого состава проводится вне дуговой печи. Однако, если при производстве стали существенно отличаются по химическому составу, а главное присадка легирующих осуществляется как в печь, так и в ковш, например, как при выплавке нержавеющей марок, остаток расплава в основном агрегате может спровоцировать ряд технологических проблем, а также сказаться на производственных затратах. Степень влияния такого нелегированного остатка на технологические особенности и затраты на производство коррозионностойкой стали, особенно при чередовании её с низколегированной, требуют

дополнительного изучения, включая и теоретическое обоснование поведения отдельных элементов.

Вторым важным моментом, рассмотренным в диссертации является влияние начального содержания растворенного углерода в стали и присадок углерода перед вакуум-кислородным рафинированием на поведение хрома и его угар. К настоящему времени однозначного представления о том, какой из вариантов присутствия углерода в системе перед ВКР является рациональным не сформировано.

Работа представляет интерес и является актуальной.

Научная новизна исследований, полученных результатов и выводов

1. Установлено, что технологический режим выплавки коррозионностойкой хромоникелевой и низколегированной стали в одном сталеплавильном агрегате существенно зависит от массы неконтролируемого остатка низколегированного металла предыдущей плавки, что затрудняет управление технологическим процессом. Отсутствие объективной информации о массе жидкого остатка приводит к перерасходу легирующих материалов, увеличению затрат за счет вынужденного отклонения технологического режима от теоретически обоснованного. Установление этой зависимости позволило рекомендовать теоретически и экспериментально обоснованные технологические приемы ведения плавов различного состава в конкретных условиях и близких к ним, включая информацию о жидком остатке от предыдущей плавки, а именно: серийность производства конкретных марок, учет количества и состава металла от предыдущей плавки, режим легирования и обезуглероживания. Например, подтверждено, что снижение массы остатка от плавки низколегированной стали при переходе на плавку коррозионностойкой стали 08X18H10T с 16,6 т до 6,0 т привело к сокращению затрат на процесс на 12,5 %.

2. Впервые разработана теоретически обоснованная и экспериментально подтвержденная математическая модель, основанная на балансовых расчетах с учетом поведения конкретных элементов в жидком расплаве (окисление, испарение и т.д.), позволяющая оценить массу остатка металла от предыдущей плавки по первой пробе металлического расплава в ДСП.

3. Установлено, что углерод, находящийся в металлическом растворе, и, добавляемый на шлак с коксом, по-разному влияют на угар хрома при вакуум-кислородном рафинировании. Автором установлено, что при повышении концентрации растворенного углерода, согласно термодинамическим закономерностям, снижается угар хрома при последующем вакуум-кислородном обезуглероживании металла. Увеличение массы углерода, присаживаемого на шлак, приводит к повышению содержания хрома в металле подшлаковой зоны и

росту потерь хрома за счет термодинамического стимулирования процессов его испарения.

Практическая значимость полученных результатов

Основные результаты диссертационной работы представлены в отчете по НИР № 1691096 «Совершенствование технологии производства низкоуглеродистой коррозионностойкой стали 08X18H10T методом вакуум-кислородного рафинирования в условиях Предприятия А с целью сокращения затрат на выплавку», выполненной по заказу Предприятия А. В качестве практических выводов показана необходимость минимизировать массу остатка металла в ДСП при переходе выплавки с низколегированной на коррозионностойкую сталь типа 18-10; скорректировать состав полупродукта по основным элементам (хром, никель, углерод); сократить расход углеродсодержащих материалов, например кокса, присаживаемого на шлак перед вакуум-кислородным обезуглероживанием. Изменение состава полупродукта, а именно: никеля в шихте с 9,6 до 10,5 %, хрома с 17,2 до 19,4 %, углерода в полупродукте с 0,67 до 0,95 % и исключение при этом подачи кокса на шлак перед вакуум-кислородным обезуглероживанием позволило сократить затраты на плавку на 11 %. В Акте Заказчиком указано, что представленный отчет по выполненной НИР удовлетворяет условиям Договора.

Отличительной чертой работы является глубокий экономический анализ производства, который показал высокую целесообразность проведенных физико-химических исследований.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Полученные в работе научные и практические результаты следует рекомендовать к использованию на предприятиях, производящих широкий спектр марок сталей и сплавов, значительно отличающихся по составу. К таким предприятиям относятся: металлургические, литейные и машиностроительные заводы. Рекомендации, предложенные в диссертационном исследовании, будут способствовать повышению технико-экономических показателей работы таких предприятий.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и заключений

Научные положения и выводы, сформулированные в диссертации, построены на основе анализа промышленных данных. Достоверность и обоснованность результатов диссертационной работы подтверждаются большим объемом промышленных данных, их корректной обработкой и сравнительным

анализом с использованием литературы; применением широкого спектра современного аналитического оборудования.

Оценка структуры и содержания диссертации

Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов и библиографического списка. Диссертация изложена на 115 страницах машинописного текста, содержит 30 рисунков, 26 таблиц и Приложения. Библиографический список включает 110 наименований публикаций отечественных и зарубежных авторов.

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

В первой главе представлен литературный обзор проблемы воздействия технологических факторов, влияющих на технико-экономические показатели выплавки коррозионностойкой стали, включающей вакуум-кислородное рафинирование. Выполнен анализ состояния рынка нержавеющей стали России, сформулированы предпосылки, оказывающие значительное влияние на технико-экономические показатели работы металлургических и машиностроительных предприятий.

В главе сформулированы цель исследования и его задачи, заключающиеся в совершенствовании технологии выплавки коррозионностойкой стали, включающей вакуум-кислородное рафинирование, и повышении технико-экономической эффективности её производства.

Во второй главе описаны материалы, оборудование и методики исследования. Отмечается, что основной объем исследований был выполнен на основе массивов промышленных данных 27 плавки стали типа 08X18H10, проведенных с 2016 по 2019 гг.

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, выполнения статистических и термодинамических расчетов. Описана методология исследования рассматриваемой проблемы.

В третьей главе проведен сравнительный анализ способов оценки массы железистого остатка в ДСП от предыдущей плавки низколегированной стали при выплавке нержавеющей стали. Показано, что предлагаемая в данной работе методика оценки массы железистого остатка в печи от предыдущей плавки низколегированной стали, использующая допущение постоянства массы никеля в металле в ходе плавки в ДСП, даёт достоверные результаты, соответствующие

практике производства нержавеющей стали. Достоверная оценка массы жидкого остатка от предыдущей плавки, не содержащей легирующие элементы, входящие в выплавляемую коррозионностойкую сталь, позволяет корректировать технологический процесс, а также учитывать влияние остатка и характеристики рассматриваемой плавки на следующую, в том числе и на выбор её марочного состава.

В четвертой главе выполнен термодинамический анализ распределения хрома в системе «металл-шлак-газ» в зависимости от концентрации углерода в металле и наличия присадок углерода на шлак перед вакуум-кислородным рафинированием. Проведен сравнительный анализ результатов термодинамических расчетов с экспериментальными данными плавов высоколегированной стали типа 08X18H10. Установлено, что углерод, растворенный в металле, и углерод, присаженный на шлак, по-разному влияют на потери хрома в ходе вакуумирования. Показано, что углерод, присаживаемый на шлак перед вакуумированием, способен снизить содержание оксидов хрома в шлаке до значений менее 0,1 %. Однако восстановившийся хром только частично попадает в металл, так как его значимое количество переходит к газовой фазе за счет испарения и с отходящими газами при активном вакуум-кислородном обезуглероживании ванны на установке ВКР.

В пятой главе выполнен анализ технологии выплавки коррозионностойкой стали типа 08X18H10 с использованием вакуум-кислородного рафинирования. Он показал, что основным способом снижения затрат и повышения экономической эффективности является сокращение массы железистого болота от предыдущей плавки низколегированной стали. Для того, чтобы дополнительно снизить затраты на выплавку, рекомендуется повысить концентрации хрома, никеля в шихте и углерода в полупродукте; минимизировать присадки углеродсодержащих материалов на поверхность шлака перед вакуум-кислородным рафинированием или отказаться от них полностью.

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 5 печатных работах, из которых 5 работ в изданиях, входящих в перечень ВАК РФ (1 – в базах Web of Science/Scopus) 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 Муратова Евгения Владиславовича, выполненной на достаточно высоком уровне, имеются следующие замечания:

1. В работе показано, что присадка кокса на шлак перед ВКР является неэффективной операцией, приводящей к росту потерь хрома в газовую фазу. Также анализ химического состава шлака показывает, что содержание хрома в нем перед ВКР незначительно. Возможно, в случае более высокого содержания хрома в шлаке использование присадок кокса на шлак оказывало бы более благоприятное влияние на снижение потерь хрома.

2. Сравнительный анализ прогнозируемых расходов легирующих при внепечной обработке стали типа 08X18N10 в зависимости от оцененной по предлагаемой методике массы железистого болота демонстрирует статистические отклонения. Вполне вероятно, что данный разброс прогнозируемых точек для рассматриваемых массивов был бы значительно ниже при более тщательном предварительном химическом анализе всех шихтовых материалов, используемых при выплавке полупродукта в ДСП.

3. В таблице 5.4 диссертации на стр. 92 суммарное изменение затрат на получение одной тонны годных слитков представлено со знаком «—», тогда как относительное изменение затрат находится в области положительных процентных значений. Очевидно, что эти значения также должны располагаться в отрицательной области.

В качестве пожеланий – автору целесообразно рассмотреть возможность применения полученных результатов работы при производстве нержавеющей стали с содержанием углерода ниже 0,03 %.

Указанные замечания не снижают ценность и 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 Муратова Евгения Владиславовича «Совершенствование технологии производства коррозионностойкой стали, включающей вакуум-кислородное рафинирование» разработаны предложения по корректировке современной технологии выплавки высоколегированной стали типа 08X18H10, опирающиеся на физико-химическое и статистическое исследование процессов, протекающих в системе «металл-шлак-газ» в ходе выплавки полупродукта и внепечного рафинирования нержавеющей стали.

Диссертация является самостоятельной законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научно-технической задачи в области влияния технологии выплавки нержавеющей стали на уровень технико-экономических показателей её производства.

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

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.

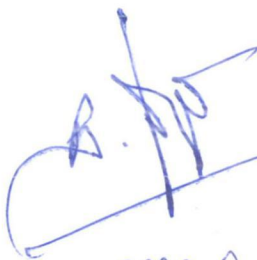
Таким образом, диссертация «Совершенствование технологии производства коррозионностойкой стали, включающей вакуум-кислородное рафинирование», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук соответствует требованиям п.2 «Положения о порядке присуждения ученых степеней в НИТУ МИСИС» П710.05-24 от 18 апреля 2024 г., предъявляемым к диссертациям на соискание ученых степеней, а её автор Муратов Евгений Владиславович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.2 – «Металлургия черных, цветных и редких металлов».

Отзыв подготовлен кандидатом технических наук, заведующим лабораторией электроплавки Куликовым Анатолием Павловичем и научным сотрудником Соловьевой Маргаритой Сергеевной.

Отзыв обсужден и принят на заседании научно-технического совета Института металлургии и машиностроения (далее по тексту – ИМиМ)

АО «НПО «ЦНИИТМАШ», на котором присутствовали доктора технических наук, кандидаты технических наук, а также сотрудники. Голосовали единогласно «За» (Протокол НТС ИМиМ № 3 от 20.03.2025 г.).

Председатель НТС ИМиМ
АО «НПО «ЦНИИТМАШ»,
докт.техн.наук, проф.,
лауреат Государственной премии СССР
и премии Правительства РФ



В.С. Дуб



М.С. Соловьева

Ученый секретарь НТС ИМиМ

Акционерное общество «Научно производственное объединение «Центральный научно-исследовательский институт технологии машиностроения» (АО «НПО «ЦНИИТМАШ»)
115088, г. Москва, ул. Шарикоподшипниковская, д. 4.
Тел. +7 (495) 675-83-02, факс: +7 (495) 674-21-96
e-mail: cniitmash@cniitmash.com