

## ОТЗЫВ

официального оппонента Гизатулина Рината Акрамовича на диссертационную работу Корзуна Евгения Леонидовича на тему «Развитие научных и технологических основ производства сталей и сплавов с контролируемым содержанием азота и углерода», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.16.02 – Metallургия черных, цветных и редких металлов

Тенденции развития мировой экономики в начале двадцать первого века выдвинули на передний план перед металлургической отраслью следующие основные технологические задачи: выполнение жестких требований к качеству стали и сплавов, особенно по содержанию цветных металлов, газов и неметаллических включений; создание комплексных технологий, гарантирующих требуемый уровень качества металла, повышающий срок службы металлургической продукции. В современных условиях освоение технологий, обеспечивающих гарантированное содержание вредных примесей в готовом металле, определяет уровень конкурентоспособности продукции металлургической промышленности на мировом рынке. Комплекс уникальных физико-химических свойств, приобретаемых металлом в результате обработки на агрегатах внепечной металлургии, открывает все новые и новые области их применения. Такие материалы широко востребованы современным материаловедением, как в чистом виде, так и в составе композиций. В связи с этим следует отметить несомненную актуальность работ по изучению и развитию технологических процессов, позволяющих расширить возможности традиционных вариантов выплавки и внепечной обработки стали и сплавов специального назначения в электрометаллургических плавильных агрегатах.

Исходя из вышесказанного, видится абсолютно закономерной постановка цели исследования Корзуна Е.Л. – развитие научных и технологических основ производства сталей и сплавов с контролируемым содержанием азота и углерода. Для достижения поставленной цели сформулированы 6 основных научно-технических задач, комплекс решения которых составил масштабное диссертационное исследование соискателя.

Концепция и основная идея диссертации заключается во всестороннем и последовательном исследовании с применением методов математического моделирования технологических процессов производства сталей и сплавов на никелевой основе в электрометаллургических плавильных агрегатах, включающих: разработку методов описания термодинамического равновесия системы металл–газ; усовершенствование методики термодинамического описания равновесия в системе железо–углерод–кислород, компонентов в металлургических газовых системах; разработку и проверку закономерностей поведения азота в системах металл–газ и металл–шлак–газ и закономерностей изменения концентрации азота в течение выплавки стали и ее внепечной обработки; формирование оптимальных условий возможности достижения

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Вх. № 16/192  
«13» 04 20 22 г.

низкого содержания азота в стали, получаемой в технологической цепи производства ДСП-УКП; изучение физико-химических и технологических возможностей получения низких концентраций азота в сплавах на основе никеля, получаемых по технологическим маршрутам вакуумная индукционная печь – вакуумная дуговая печь, вакуумная индукционная печь – электрошлаковая печь - вакуумная дуговая печь; экспериментальное исследование и обоснование технологических приемов возможности достижения низкого содержания углерода в сплавах на основе никеля, получаемых в вакуумной индукционной печи.

Достоверность полученных результатов подтверждается:

- совместным использованием современных методов теоретического анализа и экспериментальных исследований металлургических процессов, протекающих в различных сталеплавильных агрегатах;
- применением широко распространенных и апробированных методов исследований;
- адекватностью разработанных математических моделей;
- применением современных методов статистической обработки результатов исследований;
- сопоставлением полученных результатов с данными других исследователей;
- высокой эффективностью предложенных технологических решений, подтвержденных результатами промышленных испытаний и внедрением в производство.

Примененный комплексный подход явился методологической основой для достижения цели работы и решения поставленных задач.

В целом работа стала обобщением многолетних исследований диссертанта и научной школы «Донецкого национального технического университета» в области электрометаллургического производства стали и является существенным вкладом в развитие научных представлений об особенностях получения сталей и сплавов на никелевой основе с регламентированным содержанием азота и углерода.

К новым научным результатам, полученным автором, можно отнести следующие положения:

- установлено влияние парциальных давлений моноатомных углерода и кислорода над расплавом железа на растворимость углерода в нем и количественно определена взаимосвязь указанных характеристик системы «расплав железа – газовая фаза»;
- получило дальнейшее развитие термодинамическое описание раствора кислорода в жидком железе: уточнено уравнение изменения энергии Гиббса реакции растворения кислорода в жидком железе и зависимости активности кислорода в нем;
- получило дальнейшее развитие термодинамическое описание раствора углерода в жидком железе в результате уточнения уравнения изменения

энергии Гиббса реакции растворения конденсированного углерода в жидком железе;

- установлена взаимосвязь характера газовой фазы на раскислительную способность углерода в тройной системе Fe-C-O;
- установлено влияние химического состава металлургических газовых фаз, содержащих азот, на активность азота в газовой смеси;
- впервые установлены зависимости коэффициента межфазного распределения азота в системе железо – азотсодержащая газовая фаза при атмосферном давлении от концентрации азота, его активности в газе и температуры;
- впервые установлена эмпирическая зависимость содержания азота в сплаве на никелевой основе ВЖ19 после вакуумного дугового переплава от концентраций ниобия, бора и азота в металле расходуемого электрода.

К несомненным достоинствам диссертационной работы следует отнести и вклад в развитие теоретических основ рафинирования металла от нежелательных примесей, а именно:

- влияние окисленности системы металл – газ на равновесную концентрацию углерода в расплаве железа;
- развитие метода описания термодинамического равновесия металлургической системы металл – шлак – газ, учитывающей совокупность валентных электронов химических элементов как отдельный компонент фазы;
- установлена определяющая роль градиента окисленности шлака в системе металл - шлак – газ на поведение азота при выплавке и внепечной обработке вне зависимости от основного компонента шлака, имеющего отрицательную степень окисления, кислорода или фтора.

Указанные результаты подтверждают обоснованность положений, выносимых автором на защиту, а также выводов и рекомендаций, сформулированных в заключении. Представленные материалы свидетельствуют о достижении поставленной в работе цели.

Основные положения, полученные результаты и выводы диссертационной работы обсуждались на многочисленных международных, всероссийских и украинских конференциях.

Разработанные автором технологические мероприятия внедрены в производство на Молдавском металлургическом, Донецком металлургическом и Белорусском металлургическом заводах со значительным экономическим эффектом.

Рецензируемая диссертационная работа представляет собой завершённое исследование, имеющее большую научную и практическую ценность. Диссертация содержит 352 страницы основного текста, в том числе список литературы из 516 наименований на 54 страницах, пять приложений на 83 страницах. Автореферат достаточно полно раскрывает содержание, отражает структуру диссертационной работы и полностью соответствует основным положениям диссертации.

По материалам диссертации опубликованы 33 печатных работ, в том числе 13 статей в журналах, рекомендованных ВАК для опубликования результатов докторских диссертаций, получено 4 патента Российской Федерации и 1 патент Украины.

Замечания по диссертации:

1) в анализе существующих технологических приёмов при получении сталей и сплавов на никелевой основе с низким гарантированным содержанием азота автором не рассмотрен вопрос об эффективности существующих технологических маршрутов получения заготовок в целом.

2) во втором разделе диссертации недостаточно полно изложена методика термодинамического моделирования равновесных газовых систем с помощью коммерческих программных продуктов Terra и Thermo-Calc. Для моделирования в программе Terra не указан способ определения масс исходных компонентов.

3) в третьем разделе (подраздел 3.6) автор анализирует необходимый состав газовой фазы в вакуумной индукционной печи для достижения низкого содержания азота и кислорода в металле, однако в работе не приведены результаты практической проверки.

4) из описания результатов экспериментов по снижению содержания азота в полупродукте на выпуске из ДСП в разделе 4 нет описания возможности одновременного применения технологических приёмов: подача известняка вместо извести, обдув поверхности шлака кислородом и увеличение подачи углеродистого материала для вспенивания шлака.

5) при реализации предложенных автором технологий внепечной обработки стали с целью снижения содержания азота в стали, изложенных в разделе 4, применяли обдув кислородом поверхности шлака в сталеразливочном ковше. Такой приём может привести к увеличению расхода раскислителей при внепечной обработке. Однако, автор не приводит данные о фактическом расходе раскислителей.

6) из материалов раздела 4 не ясно возможность применения технологических приёмов по стабилизации содержания азота при производстве азотсодержащих сталей при переходе от разливки в слитки к непрерывной разливке.

7) известно, что электрошлаковый переплав в стандартной технологии практически не влияет на изменение содержания азота в металле, однако автор в пятом разделе описывает результаты применения триплекс технологии (ВИП–ЭШП–ВДП) на изменение содержания азота в никелевом сплаве Inconel 718. В тексте этого раздела недостаточно полно изложена аргументация необходимости применения ЭШП и триплекс процесса в целом перед дуплекс – процессом ВИП–ВДП.

В диссертации имеются неточности:

1) в третьем разделе автор использует две единицы измерения давления: атмосферы и Паскали. Кроме того, в разделе 5 используется еще одна единица измерения давления – миллибары. Желательно использовать одну единицу измерения, соответствующую системе СИ.

2) в рисунках 3.22–3.28 желательно было отобразить касательные к графикам



нелинейных аппроксимаций фактических данных концентрации углерода в железе (м.д.) в зависимости от парциального давления атомарного углерода в точке концентрации 0.

**Общее заключение по диссертации:**

Диссертационная работа Корзуна Е.Л. соответствует специальности 05.16.02 – Metallургия черных, цветных и редких металлов, имеет внутреннее единство и является завершенной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований изложены научно обоснованные технические и технологические решения по реализации процессов производства сталей и сплавов с контролируемым содержанием азота и углерода, внедрение которых решает актуальную научно-техническую проблему управления содержанием азота в сталях и никелевых сплавах и достижения низкого содержания углерода в коррозионноустойчивых сплавах на основе никеля, что обеспечивает значительный вклад в развитие экономики страны.

Работа отвечает требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук, определенным п. 2 Положения о присуждении ученых степеней, и может быть представлена к защите в ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», а её автор, Корзун Евгений Леонидович, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.16.02 - Metallургия черных, цветных и редких металлов (технические науки).

Официальный оппонент доктор  
технических наук, доцент, профессор  
кафедры «Metallургия цветных  
металлов и химическая технология»  
«12» апреля 2022 года



Гизатулин Ринат Акрамович

Почтовый адрес: 654007, Новокузнецк, улица Кирова, 42, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный индустриальный университет» (ФГБОУ ВО «СибГИУ»). Телефон: +7 (3843) 74-89-13. Электронный адрес: [kafcmet@sibsiu.ru](mailto:kafcmet@sibsiu.ru).

Подпись профессора Гизатулина Р.А. заверяю:  
начальник отдела кадров ФГБОУ ВО «СибГИУ»



Т.А. Миронова