

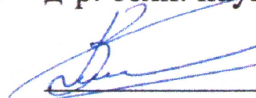


УТВЕРЖДАЮ

Ректор Государственного
образовательного учреждения
высшего образования Луганской
Народной Республики

«Донбасский государственный
технический институт»

д-р. техн. наук, доц.

 Д.А. Вишнеvский

« 19 » 04 2022 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию 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

Актуальность для науки и практики

Намеченный стратегический переход чёрной металлургии от технологического маршрута производства стали доменная печь – кислородный конвертер (КК) к технологическому маршруту железо прямого восстановления – дуговая сталеплавильная печь (ДСП), в котором шихта для ДСП производится за счет восстановления железорудного концентрата водородом, обуславливает актуальность разработки соответствующих технологий производства марок сталей, ранее выплавлявшихся в КК. В настоящее время при производстве стали в КК содержание азота составляет около 25 ppm, что считается низким. В то время как содержание азота в стали, выплавляемой из металлического лома и скрапа в ДСП, находится в диапазоне 60–100 ppm.

Такие концентрации азота создают серьезные проблемы при получении качественного толстолистового проката, на производство которого в основном используется сталь, выплавленная кислородно-конвертерным процессом. При этом весьма актуальным становится вопрос научного обоснования технологических приёмов, обеспечивающих содержание азота в готовой электростали не выше, чем при конвертерном переделе.

Отдельный интерес представляет проблема получения коррозионностойких сплавов на никелевой основе с низким содержанием азота и углерода, используемых в перспективных энергетических установках (жидкосольевых реакторах). Таким образом, основное внимание в представленной к защите диссертационной работе уделено решению важной научно-практической

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Вх. № 101147
« 27 » 04 2022 г.

проблемы, связанной с управлением содержанием азота и углерода в сталях и сплавах на никелевой основе в технологических процессах выплавки и внепечной обработки, которые реализуются с использованием электрических агрегатов. Для решения этих проблем на основе термодинамического моделирования и практических экспериментов установлены зависимости влияния окисленности металлургической системы на растворимость углерода в расплаве железа, определяющее влияние на процесс азотирования или деазотации жидкого металла градиента окисленности по толщине шлака, пределы деазотации никелевых сплавов в процессе вакуумного дугового переплава, возможности обезуглероживания никелевых сплавов при выплавке в вакуумной индукционной печи. Полученные выводы и их практическая реализация в виде технологических процессов позволили повысить эффективность электросталеплавильного производства. Актуальность темы диссертации не вызывает сомнения.

Основные научные результаты и их значимость для науки и производства

Основные научные результаты, полученные автором.

1. Впервые установлено влияние парциальных давлений моноатомных углерода P_C и кислорода P_O над расплавом железа на растворимость углерода в нем и количественно определена взаимосвязь указанных характеристик системы "расплав железа – газовая фаза", которая выражается уравнением $x_{[C]} = \exp(77124/T - 7,096) \cdot P_C \cdot P_O^{1/2}$ (1823÷2023К).

2. Получило дальнейшее развитие термодинамическое описание раствора кислорода в жидком железе: уточненные уравнения изменения энергии Гиббса реакции растворения кислорода в жидком железе и зависимости активности кислорода в нём имеют вид $\Delta G = -118473 + 24,6 \cdot T$, Дж/моль, $a_{[O]} = x_{[O]} \cdot \exp(10,77 - 44535/T)$.

3. Получило дальнейшее развитие термодинамическое описание раствора углерода в жидком железе в результате уточнения уравнения изменения энергии Гиббса реакции растворения конденсированного углерода в жидком железе: $\Delta G = 262594 - 143,695 \cdot T$, Дж/моль.

4. Получило дальнейшее развитие термодинамическое описание раскислительной способности углерода в тройной системе Fe-C-O. Установлено, что для обеспечения непрерывности снижения активности кислорода, растворённого в железе, при уменьшении общего давления в системе необходимо поддерживать восстановительный характер газовой фазы, а для соответствующего снижения активности углерода – окислительный характер газовой фазы.

5. Получило дальнейшее развитие термодинамическое описание металлургических газовых фаз, содержащих азот. Установлено, что наименьшей активностью азот обладает в газовой смеси с инертными газами, а примеси восстановительных (водород, оксид углерода (II)) и окислительного (кислород) компонентов в газовой смеси приводят к росту активности азота.

6. Впервые установлены зависимости коэффициента межфазного распределения азота в системе железо – азотсодержащая газовая фаза при атмосферном давлении от концентрации азота $x_{\{N\}}$, его активности $a_{\{N\}}$ в газе и температуры T : $L_N=296 \cdot x_{\{N\}}+2236 \cdot a_{\{N\}}+1161717/T-282$ для систем Fe–N–Ar(He) при температуре $T=1853–2273\text{K}$ и любых соотношениях исходных компонентов в газе; $L_N=242 \cdot x_{\{N\}}+419781 \cdot a_{\{N\}}+1631212/T-784$ для систем Fe–NH₃–Ar(He) при температуре $T=1963–2123\text{K}$ и содержании аммиака в исходной газовой смеси от 0 до 40% об.

7. Впервые установлена эмпирическая зависимость содержания азота в сплаве на никелевой основе ВЖ 159 после вакуумного дугового переплава $[N]^{\text{VAR}}$ (% масс.) от концентраций (% масс.) ниобия $[Nb]^*$, бора $[B]^*$ и азота $[N]^*$ в металле расходуемого электрода: $[N]^{\text{VAR}}=0,0106 \cdot [Nb]^*+3,4578 \cdot [B]^*+0,5206 \cdot [N]^*-0,0347$.

Значимость для науки результатов исследований заключается в том, что:

1. Установлено влияние окисленности системы металл – газ, определенной через парциальное давление атомарного кислорода, на равновесную концентрацию углерода в расплаве железа.

2. Получил дальнейшее развитие метод описания термодинамического равновесия металлургической системы металл – шлак – газ, основанный на принципе равенства активностей компонентов в фазах системы, при этом компонентами всех фаз считаются химические элементы.

3. Получило дальнейшее развитие термодинамическое описание металлической фазы с использованием модели растворов, учитывающей совокупность валентных электронов химических элементов как отдельный компонент фазы, адекватно отображающей жидкие растворы систем Fe–O, Fe–N, Fe–Cr–N.

4. 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.

5. Получило дальнейшее развитие представление о взаимосвязи температур ликвидус, солидус, с учётом неравновесного процесса затвердевания, растворимости азота на примере легированных азотом сталей 08X18H5Г12АБ, 12X18АГ18, 04X20H6Г11M2АФБ. Получены соответствующие эмпирические зависимости, пригодные для любого химического состава этих сталей в рамках нормативных требований к ним.

Практическое значение результатов работы определяется в следующем:

1. Усовершенствована технология электрометаллургического производства высокоуглеродистой стали для изготовления катанки с дальнейшей переработкой в корд, позволяющая получить содержание азота в заготовке не более 80 ppm без применения вакууматора.

2. Разработаны и внедрены технологические приёмы, позволяющие устранить повышение концентрации азота на заключительном этапе

окислительного периода выплавки полупродукта в дуговой сталеплавильной печи.

3. Уточнённые в работе термодинамические зависимости поведения кислорода и углерода в расплавах на основе железа использованы в разработке современных систем автоматизированного проектирования и управления технологическими процессами выплавки и внепечной обработки стали.

4. Усовершенствована технология производства азотсодержащих коррозионностойких немагнитных сталей 08X18H5Г12АБ (ННЗБ), 12X18АГ18, 04X20H6Г11М2АФБ с содержанием азота, близким к пределу его растворимости при атмосферном давлении.

5. Усовершенствована технология триплекс-процесса производства жаропрочного сплава на никелевой основе Inconel 718 с гарантированно низким содержанием азота (не выше 65 ppm).

6. Разработана и реализована технология двухстадийного вакуумного индукционного процесса производства коррозионностойкого сплава на никелевой основе ХН62М-ВИ (ЭК190-ВИ) с гарантированно низкими концентрациями углерода (не выше 50 ppm) и азота (не выше 50 ppm).

7. Материалы диссертации используются в учебном процессе в материалах лекций, практических работах, при выполнении курсовых и дипломных работ студентов по направлению подготовки 22.03.02, 22.04.02 «Металлургия», программы подготовки бакалавриата и магистратуры «Металлургия стали» и «Электрометаллургия стали».

8. Материалы диссертации используются при выполнении научно-исследовательских работ, проведенных в ГОУВПО "ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ".

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Разработанные технологии производства электростали, обеспечивающими пониженное содержание азота на технологическом маршруте ДСП–УКП, могут быть распространены не только в электросталеплавильных цехах Российской Федерации и ДНР, но и кислородно – конвертерных цехах этих стран и ЛНР. Указанная технология может быть использована в качестве резервного технологического маршрута при экстренной остановке вакууматоров для соблюдения требований по содержанию азота в стали.

Технология производства азотированных сталей в открытых процессах может найти своё применение на предприятиях Российской Федерации и новых предприятиях ДНР и ЛНР.

Технологии производства никелевых сплавов с гарантированно низким содержанием азота и углерода перспективны для внедрения на предприятиях Российской Федерации при создании материалов для инновационной техники. Особенно, при переходе к получению порошков для аддитивных технологий.

Выполненные научные и технологические исследования являются основой разработки технологий вакуумной обработки сталей и сплавов на никелевой основе, позволяющих достигать содержание азота в готовой продукции ниже 15

ppm, а также производства сплавов на никелевой основе с содержанием углерода не выше 20 ppm.

Общие замечания

1. В разделе 1 приведен обширный материал по термодинамическому моделированию растворимости азота в сталях и сплавах на никелевой основе, в котором, однако, автор не привёл границ применимости каждой из приведенных моделей.

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

3. В первом разделе диссертации автор не приводит анализ влияния электрошлакового переплава на содержание азота в слитках стали и сплавов на основе никеля.

4. В первом разделе диссертации при анализе модельных представлений о растворимости азота в сталях не проведено сравнение результатов расчёта по различным моделям с фактическими данными и не указаны границы применимости приводимых моделей.

5. При рассмотрении методики термодинамического моделирования не показана схема последовательности расчетов в программах «Терра» и Thermo-Calc.

6. При анализе экспериментальных данных по растворимости кислорода и углерода в железе в системах Fe–H₂–H₂O и Fe–CO–CO₂ диссертант не привел сравнения погрешностей измерения концентраций и температур в различных группах экспериментов.

7. В четвёртом разделе диссертационной работы в описании результатов промышленных экспериментов по снижению содержания азота в готовой стали отсутствует проверка комплексной технологии с оценкой эффективности на каждом этапе.

8. В пятом разделе упоминается словосочетание «закапсулированный оксид никеля», а расшифровка этого понятия отсутствует.

9. Оценка равномерности распределения компонентов сплава по высоте и сечению слитка никелевого сплава при сравнении серийной технологии дуплекс – процесса (ВИП–ВДП) и предлагаемой автором триплекс – технологии (ВИП–ЭШП–ВДП) несомненно добавила бы убедительности в необходимости её промышленного внедрения.

Заключение

Диссертация представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу, в которой решена актуальная, имеющая важное хозяйственное значение научно-техническая проблема управления содержанием азота и углерода в сталях и никелевых сплавах на основе установленных закономерностей

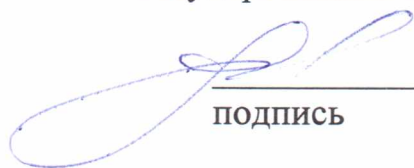
технологий выплавки, внепечной обработки и переплавных процессов в электрических плавильных агрегатах.

Полученные диссертантом научные результаты имеют существенное значение для металлургии, науки и практики сталеплавильного производства, а также производства коррозионностойких и жаропрочных сплавов на никелевой основе. Выводы и рекомендации достаточно обоснованы.

Работа отвечает требованиям п. 2.1 «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 05.16.02 – Металлургия черных, цветных и редких металлов.

Отзыв обсужден и одобрен на заседании кафедры «Металлургия черных металлов» Государственного образовательного учреждения высшего образования Луганской Народной Республики «Донбасский государственный технический институт» «14» апреля 2022 г., протокол № 10.

Кандидат технических наук по специальности 05.16.02 – «Металлургия черных металлов», профессор, заведующий кафедрой «Металлургия черных металлов» Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования Луганской Народной Республики «Донбасский государственный технический институт».

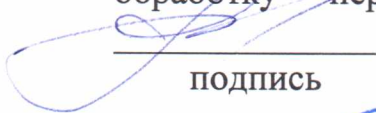


Куберский Сергей Владимирович

подпись

94204, Луганская Народная Республика, г. Алчевск, пр. Ленина, 16
 тел.: +38 (06442) 2-82-24
 эл. почта: kaf.mchm.dongtu@yandex.ru

Я, Куберский Сергей Владимирович, согласен на автоматизированную обработку персональных данных приведенных в этом документе



подпись

Подпись Куберского Сергея Владимировича подтверждаю:

Специалист ОКИД



подпись

