ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.324.01, СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «МАГНИТОГОРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Г.И. НОСОВА», МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 22.03.2022 № 6

О присуждении Горкуше Дмитрию Витальевичу гражданину РФ ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Исследование технологии выплавки и ковшевой обработки низкоуглеродистых сталей класса IF для глубокой вытяжки с целью повышения качества продукции» по специальности 2.6.2. Металлургия черных, цветных и редких металлов принята к защите 18.01.2022 (протокол заседания № 4) диссертационным советом 24.2.324.01, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 455000, г.Магнитогорск, пр. Ленина, 38, приказ № 714/нк от 02.11.2012 г.

Соискатель Горкуша Дмитрий Витальевич, «07» июня 1992 года рождения, в 2019 году окончил аспирантуру по направлению подготовки 22.06.01 Технология материалов в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Работает инженером-исследователем в лаборатории № 17 диагностики материалов Института металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук.

Диссертация выполнена в лаборатории №17 диагностики материалов федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук и на кафедре металлургии стали, новых производственных технологий и защиты металлов НИТУ «МИСиС» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель - академик РАН, доктор технических наук, профессор Григорович Константин Всеволодович, федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук, лаборатория Диагностики материалов №17, заведующий лаборатории и федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», кафедра Металлургии стали, новых производственных технологий и защиты металлов, профессор.

Официальные оппоненты:

Шешуков Олег Юрьевич, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, институт новых материалов и технологий, директор института.

Житенев Андрей Игоревич, кандидат технических наук, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», г. Санкт-Петербург, научно-технологический комплекс «Новые технологии и материалы», ведущий инженер.

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Государственный научный центр Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии им. И.П. Бардина», г. Москва в своем положительном отзыве, подписанном Александром Валентиновичем

Куклевым, доктором технических наук, научный центр металлургических технологий (НЦМТ) ГНЦ ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина, директор и Москвиной Татьяной Павловной, кандидатом технических наук, ученый совет ГНЦ ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», ученый секретарь, утвержденным Семеновым Виктором Владимировичем, кандидатом технических наук, государственный научный центр Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии им. И.П. Бардина» генеральный директор, указала, что диссертационная работа Горкуши Дмитрия Витальевича представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным в пп. 9-11 и 14 «Положения о присуждения ученых степеней», утвержденного Правительством Российской Федерации от 24 сентября 2013г. №842. В диссертационной работе содержится решение научной задачи, имеющей существенное значение для металлургической области, а именно определены ключевые технологические параметры достижения ВН – эффекта в стали класса IF, даны конкретные предложения по корректировке технологии на отечественном предприятии и разработана методика совместного применения двух методов анализа неметаллических включений ФГА и ЭР ЭЗМА. Ее автор Горкуша Дмитрий Витальевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.2. Металлургия черных, цветных и редких металлов.

Соискатель имеет 20 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 5 публикаций в рецензируемых журналах (3 статьи – в журналах из перечня, рекомендованного ВАК РФ и 2 статьи – в журналах, индексируемых в международных базах Web of Science, Scopus). Сведения об опубликованных работах достоверны. Авторский вклад соискателя состоит в постановке целей и задачи работ, непосредственном участие в проведении опытных промышленных плавок IF и IF-ВН на предприятиях, отборе и анализе проб, а также обработке полученных результатов. Также автором были проведены экспериментальные исследований неметаллических включений в модельных сплавах для формулировки предложений по использованию

комбинации методов исследования неметаллических включений с целью их разностороннего и полного анализа.

Наиболее значимые научные работы соискателя:

1. Изменение содержания различных типов неметаллических включений в процессе внепечной обработки низкоуглеродистой стали класса IF [Текст] / Д.В. Горкуша, К.В. Григорович, А.В. Карасев [и др.] // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. - 2019. - Т. 62, № 5. - С. 345-352.
2. Исследование критериальных параметров достижения ВН эффекта в сверхнизкоуглеродистых сталях для глубокой вытяжки [Текст] / Д.В. Горкуша, О.А. Комолова, К.В. Григорович [и др.] // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. - 2020. - Т. 63, № 3-4. - С. 201-210.
3. Characterization of Non-metallic Inclusions and Clusters during Production of Low-carbon IF Steel [Text] / D. Gorkusha, A.V. Karasev, O. Komolova [et al.] // ISIJ International. - 2020. - Vol. 60, № 12. - P. 2819-2828. - DOI : 10.2355/isijinternational.ISIJINT-2020-202.
4. Application of Some Modern Analytical Techniques for Characterization of Non-Metallic Inclusions in a Fe-10mass%Ni Alloy Deoxidized by Ti/Zr and Ti/Mg [Text] / A.V. Karasev, D. Gorkusha, K.V Grigorovich [et al.] // Metals. - 2021. - Vol. 11, № 3. - P. 448. - DOI : 10.3390/met11030448.

В приведенных работах достаточно полно изложены основные исследования, положения и выводы, которые автор использовал в своей диссертационной работе.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы (все полученные отзывы положительные):

1. АО НПО ЦНИИТМАШ, г. Москва, д.т.н. К.Л. Косырев, к.т.н. Д.А. Шурыгин;
2. ФГАОУ ВО НИТУ МИСиС, г. Старый Оскол, д.т.н. А.А. Кожухов;
3. НИЦ Курчатовский институт ЦНИИ КМ Прометей, г. Санкт-Петербург, отзыв д.т.н. В.В. Цуканов;
4. ФГБОУ ВО ИРНИТУ, г. Иркутск, д.т.н. Н.В. Немчинова;
5. ФГАОУ ВО ЮУрГУ, г. Челябинск, д.т.н. В.Е. Рощин;

6. ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк, д.т.н. Протопопов Е.В., к.т.н. А.А. Усманский;

7. ФГАОУ ВО Южно-Уральский государственный университет (НИУ), г. Челябинск, д.т.н., Г.Г. Михайлов;

8. НИТУ МИСИС, г. Москва, к.т.н. Г.И. Котельников;

9. ВПО Сталь, г. Москва, отзыв к.т.н. Н.С. Съемщиков;

10. АО Выксунский металлургический завод, г. Выкса, к.т.н. А.В. Мунтин;

11. ООО Джет Софт, г. Москва, отзыв к.т.н. К.А. Зубарев.

В отзывах на автореферат содержатся следующие замечания:

1. В автореферате и диссертации не представлены результаты реализации рекомендаций по корректировке технологии на основе полученных данных по эволюции и влиянию состава неметаллических включений на ВН-эффект. Это не позволяет получить полную картину влияния от предложенных автором рекомендаций на качественные характеристики IF и IF-BH сталей. Кроме того, недостаточным является формат представления данных о получаемом качестве и свойствах металла лишь на основе информации о содержании отдельных химических элементов, вкладе только ВН-эффекта в уровень прочностных характеристик механических свойств, морфологии и размеров неметаллических включений. Также автор не дает ответа о том, что при исследовании типов включений и их управлением в процессе производства для получения заданных свойств исследуемых сталей является более значимым – размер включений или форма.

2. Автор показывает в работе, что снижение содержания кислорода, находящегося в виде неметаллических включений, и рафинирование от включений идет не только на этапе внепечной обработке, но и особенно интенсивно на этапе непрерывной разливки, причем оно идет и в промковше, и в кристаллизаторе. Однако эти данные отличаются от результатов различных исследований и автору следовало бы привести более подробную аргументацию полученных в работе выводов.

3. В работе отсутствует информация о том, в каком соотношении автором предлагается использовать комплексное раскисление кальцийсодержащими

материалами и алюминием, а также при каком содержании или вводимом количестве кальция начинает проявляться эффект от его применения для эволюции неметаллических включений и механических свойств.

4. При указании автором условий обеспечения отсутствия площадки текучести для первых двух из них приводится рекомендация к получению их «менее 40±2 ppm». Остается не понятным условие, какой уровень должен быть – или менее 40 ppm, или от допустимых отклонений. Кроме того, такая интерпретация данных автором противоречит третьему условию – «суммарное содержание углерода и азота менее 80 ppm».

5. Имеются замечания к количеству опечаток в тексте автореферата, а также недостаточно чётко сформулированными предложениями, например, автор утверждает «что увеличение углерода от 0 до 40 ppm увеличивает ВН-эффект от 40 до 70 МПа, а дальнейшее увеличение растворенного углерода не оказывает влияния на величину ВН – эффекта», то есть рассматриваются составы сталей от 0 ppm углерода? Также замечания общего характера касаются формата представления экспериментальных данных в автореферате, а именно рисунок № 6 – для первого образца отсутствуют данные измерений и их обработка; рисунок № 12 – для оси абсцисс «Содержание углерода,%» указаны отрицательные значения. При обработке статистических данных всех графиков отсутствуют указания полученных коэффициентов корреляции, что снижает возможность в полной мере оценить полученные зависимости.

6. Автор в работе рассматривает две технологии, одна из которых предусматривает модифицирование включений кальцием, однако в автореферате не представлены типы включений, образующихся после обработки, стали кальцием.

7. Автор говорит о возможности прогнозирования вероятности затягивания сталеразливочных стаканов при разливке сталей класса IF по результатам анализа образцов металла методом ФГА, каким образом это может быть использовано в условиях реального производства, ведь затягивание может произойти и в середине процесса разливки.

8. Одной из рекомендаций совершенствования технологии производства сталей класса IF является исключение из технологической цепочки агрегата ковш-печь, на основе анализа данных паспортов плавок и определения средней величины теплопотерь расплава, начиная с выпуска металла из конвертера и заканчивая измерением температуры на МНЛЗ. На основании анализа какого количества паспортов плавок определена средняя температура снижения? Как в ходе анализа учитывалось состояние футеровки ковша «новая» и «старая»? Как в ходе анализа учитывались логистические потоки в цехе?

9. По предложенным корректировкам промышленной технологии производства IF-BH стали не приводятся практические результаты по выплавке, внепечной обработке, разливке и оценке качества готовой продукции.

10. Из текста автореферата не совсем ясно: растворы каких конкретно электролитов были использованы автором для электролитического растворения исследуемых образцов (см. стр. 7)

11. По тексту имеются замечания по отсутствию некоторых запятых, по несколько раз вводятся аббревиатуры (например, ФГА).

12. Выводы по работе, представленные в автореферате, являются перечислением выполненных исследований и, несмотря на их большое количество и многословное изложение каждого, не содержат анализ ценности полученных результатов. В частности, непонятно, что нового содержит вывод №5, в котором приведено известное положение о влиянии кальция на морфологию оксидных включений, или вывод №6 о том, что «…промковш является рафинировочным агрегатом этапа внепечной обработки».

13. Необходимо сделать замечание и по недостаточно качественному представлению материала в автореферате. Текст автореферата набран слишком мелким шрифтом, некоторые рисунки (№№ 1, 2, 4, 7, 8) вследствие малых размеров и, возможно, цветного исполнения оригиналов, плохо пропечатаны и практически не читаемы, оси координат на некоторых рисунках приведены зачем-то на английском языке. Эти недостатки оформления затрудняют работу с авторефератом.

14. В автореферате не приведен фактический химический состав исследуемых марок стали, что затрудняет восприятие результатов исследований неметаллических включений.

15. Не ясно, какая из предложенных технологических схем выплавки и внепечной обработки стали класса IF (с использованием агрегата «ковш-печь» или без его применения – рисунки 9 и 10 соответственно) является, по мнению автора, предпочтительной.

16. Формулы для прогноза концентраций титана и ниобия в стали не сопровождаются информацией о погрешности предсказываемых величин.

17. На рисунке 12 приведена корреляционная зависимость окисленности стали от содержания углерода, однако при этом не указан коэффициент корреляции.

18. Влияние серы оценено как негативное и введены ограничения по содержанию серы в исходном металле. При этом не предусмотрена технология, при которой возможна предварительная десульфурация металла в стальковше.

19. Отсутствие четкой прослеживаемости во влиянии разработанных методов контроля и анализа неметаллических включений, а также новых технологических подходов на качественные характеристики продукции (в частности, на коррозионные свойства стального проката), как это определено в целях работы.

20. Автором сделан вывод об эффективном применении комплексного раскисления расплава путем добавления кальция, который модифицирует кластерные включения в сферические включения, которые впоследствии хорошо удаляются и являются менее вредными для технологичности процесса. При этом не определены оптимальные диапазоны по массовой доле кальция для рассматриваемых сталей, т.е. не раскрыта сама суть технологии модифицирующей обработки жидкой стали.

21. В автореферате не отражены некоторые важные аспекты, в частности, не приведено обсуждение границ применимости разработанной методики, диапазонов достоверности полученных выводов, точности (погрешности) проведенных экспериментов.

22. В представленной работе не рассмотрены вопросы влияния соотношения чугуна к лому (на соотношение влияет температура чугуна и его химический состав для теплового баланса) на свойства полупродукта, а именно на содержание серы и примесей цветных металлов таких как цинк, медь, хром и никель.

23. В представленной работе не приведены расчеты теплового баланса по предложенным схемам с учетом стойкости сталеразливочного ковша и температуры окружающей среды.

24. В представленной работе не оценена экономическая эффективность предлагаемых в работе изменений и оптимизаций. Данный расчет мог подчеркнуть практическую значимость работы.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их схожей тематикой научных исследований и опубликованными ими научными работами в высокорейтинговых российских и зарубежных рецензируемых журналах по проблемам диссертационного исследования в области оптимизации технологий выплавки стали с использованием циркуляционного вакуумирования, выплавке и обработке низкоуглеродистых сталей, в том числе класса IF, методов оценки неметаллических включений, а также изучению их влияния на свойства готовой продукции.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана методика комбинированного анализа неметаллических включений в стали с использованием метода фракционного газового анализа и метода электролитического растворения с последующим анализом неметаллических включений на сканирующем электронном микроскопе. Разработанная методика опробована на модельном сплаве и показано, что комбинация методов ФГА и ЭР ЭЗМА хорошо дополняют друг друга при изучении неметаллических включений в сталях, позволяя получать объективные данные;

предложено использовать разработанную методику для анализа промышленных образцов IF и IF-BH стали и классификации неметаллических включений по ходу металлургических операций;

доказано влияние содержания свободного углерода, общего содержания углерода, азота и легирующих элементов на ВН эффект;

введена новая классификация оксидных неметаллических включений в зависимости от их температуры восстановления и карботермической стабильности; определены по морфологическим признакам характерные типы неметаллических включений стали класса IF и IF-BH, влияющие на технологичность процесса ее разливки, снижение эксплуатационных свойств и прочностных характеристик готовых изделий.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

Доказано что для достижения стабильного ВН эффекта в стали класса IF, необходимо выполнение следующих условий: содержание углерода эффективного от 7 до 20 ppm, содержание общего углерода и азота менее 40 ppm для каждого элемента;

Применительно к проблематике диссертации результативно использован разработанный метод комбинирования ФГА и ЭР ЭЗМА исследований, позволивший доказать ключевую роль включений оксидов титана на процессы зарастания разливочных стаканов;

изложены фактические данные применения результатов анализа образцов металла методом ФГА для прогнозирования вероятности затягивания сталеразливочных стаканов при разливке сталей класса IF;

раскрыто, с использованием метода ФГА, влияние операций разливки стали класса IF и IF-BH на снижение содержания неметаллических включений в металле;

изучено влияние применения кальция для модифицирования оксидных неметаллических включений в стали класса IF и IF-BH и установлено, что кальций положительно влияет на морфологию включений, модифицируя их в глобулярную форму размером менее 10 мкм, которые являются наименее вредными с точки зрения процесса разливки стали;

проведена модернизация методики анализа неметаллических включений с применением метода ФГА и электролитического растворения образцов с последующим анализом неметаллических включений на сканирующем

электронном микроскопе (ЭР ЭЗМА), что позволило получить новые научные результаты об изменении состава и морфологии неметаллических включений в IF и IF-BH сталях в процессах рафинирования и разливки.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработана и внедрена методика определения количественного и качественного состава неметаллических включений комбинацией двух методов ФГА и ЭР ЭЗМА;

определена область практического использования методики совместного анализа ФГА и ЭР ЭЗМА для исследования промышленных образцов IF стали и других марок стали раскисленных алюминием;

представлены ключевые параметры достижения BH эффекта, которые реализованы в практике производства IF-BH стали на отечественных предприятиях, сформулированы рекомендации для корректировки промышленной технологии производства IF-BH стали;

создана система практических рекомендаций по ключевым параметрам достижения BH эффекта, основными из которых являются: содержание углерода эффективного в слябе от 7 до 20 ppm, содержание углерода в стали и азота в стали менее 40±2 ppm для каждого элемента;

использование результатов диссертационной работы в условиях ПАО «Северсталь» подтверждается полученной справкой от ПАО «Северсталь»;

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

эксперименты проведены на сертифицированном и калиброванном оборудовании, результаты по фракционному газовому анализу получены на газоанализаторе LECO TC-600 в Институте металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова (РАН) и обработаны с помощью оригинального программного обеспечения OxSep, исследования Оже-электронной спектрометрии выполняли на электронном микроскопе высокого разрешения с Оже-спектрометром Jeol JAMP 9500F, электролитическое растворение выполняли на оригинальном оборудовании в лаборатории KTH Royal Institute of Technology и анализ неметаллических включений был проведен с использованием сканирующего

электронного микроскопа Hitachi S-3700N. Показана хорошая корреляция и воспроизводимость в определении разных типов неметаллических включений двумя методами ЭР и ФГА как на модельных так и на промышленных образцах металла;

теория о классификации неметаллических включений комбинацией методов ЭР ЭЗМА и ФГА для стали класса IF и IF-BH построена на известных проверяемых данных и хорошо согласуется с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации и по смежным отраслям;

идеи базируется на том, что стали класса IF относятся к сталям раскисленным алюминием и на общеизвестных данных о классификации оксидных неметаллических включений, в том числе на основании множества опубликованных статей, описывающих связь между морфологией и активностью растворенного кислорода и алюминия, а также на использовании кальция для модификации неметаллических включений для изменения их формы, размера и агрегатного состояния;

использованы сравнения данных по критериям достижения BH эффекта для стали класса IF-BH, полученных соискателем с данными представленными в независимых источниках

установлен высокий уровень сходимости результатов по критериальным параметрам достижения BH эффекта для IF-BH стали и промышленных испытаний на одном из отечественных предприятий, а также с ранее опубликованными данными других исследователей, однако с поправкой на конкретное предприятие;

использованы современные методики сбора и обработки исходной информации с использованием современного лицензионного программного обеспечения, аналитические и измерительные приборы, пакеты прикладных программ, разносторонний литературный материал как отечественных, так и зарубежных авторов.

Личный вклад соискателя состоит в освоении и применении полного комплекса лабораторного оборудования лаборатории № 17 Диагностики материалов Института металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова

Российской академии наук, в том числе оборудования для проведения анализа неметаллических включений методом ФГА, и оборудования для проведения ЭР ЭЗМА анализа, самостоятельном проведении всех экспериментальных исследований неметаллических включений в модельном сплаве и в пробах промышленно произведенной стали IF и IF-BH, отобранных на двух отечественных предприятиях с использованием методов ФГА и ЭР ЭЗМА. При непосредственном участии Горкуши Дмитрия Витальевича были проведены опытно-промышленные плавки IF и IF-BH стали. В процессе выполнения работы Горкушей Дмитрием Витальевичем активно выполнялись термодинамические расчеты выплавки и внепечной обработки стали IF и IF-BH, использовались современные методы исследований и математической обработки экспериментальных данных. Им самостоятельно был проведен анализ и обработка полученных результатов и сформулированы выводы и рекомендации по совершенствованию технологии выплавки и внепечной обработки стали IF и IF-BH.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

1. Температура прихода стали в стальковше перед разливкой 1590 С достаточно низкая.

2. Предлагаемое содержание азота на уровне 20 ppm на выпуске из конвертера практически получить не удается в условиях предприятия

3. Брак по площадке текучести возможно убрать с помощью дрессировки, однако в работе про это ничего не сказано

4. Каким образом размер зерна влияет на наличие площадки текучести?

В отзыве ведущей организации приведены следующие замечания:

1. На рисунках 4 и 7 в технологической схеме производства стали на предприятиях 1 и 2 промковш выделен в отдельный агрегат, хотя он является частью МНЛЗ и корректней в схеме в качестве агрегата указать именно МНЛЗ.

2. В работе приведен термин «срок годности» в отношении требований к сталям IF-BH, однако значение данного термина не расшифровано в тексте автореферата.

3. В тексте автореферата содержатся опечатки и ошибки, например, «г. Екатеренбург», «Описан процесс модификация неметаллических включений…», «Проведен сравнение», а также сбой в нумерации формул, которые начинаются с (2).

В отзыве официального оппонента Шешукова О.Ю. приведены следующие замечания:

1. По оформлению:

1.1. На стр. 11 приведен рисунок, но нет ссылки на него, а также нет подрисуночной подписи. Видимо это должен быть рисунок 1.1, а затем следует рисунок 2, но видимо должен быть рисунок 1.2. Далее приведен рисунок 3 (видимо должен быть 1.3), но ссылки на него опять нет. Формулы и таблицы также обозначены (1), вместо (1.1).

1.2. В тексте приведена фраза «Контроль общего содержания углерода на уровне 15-25 ppm и титана на уровне ~ 0,01 % позволяет получать ВН-эффект при легировании стали только титаном [18, 19].». Видимо размерность нужно приводить к одним единицам, либо ppm, либо %.

1.3. На рис. 46 на стр. 107 подрисуночные надписи сделаны на английском языке. Все надписи должны быть на русском языке.

1.4. Автор указывает и приводит в автореферате список из 20 опубликованных работ по теме диссертационной работы, однако в ней же ссылается только на три работы.

2. На стр. 44-45, определены цели и задачи диссертационной работы. Желательно, чтобы соискатель пояснил, какой цели и задаче служит исследование, приведенное во 2-й главе диссертационной работы

3. Во второй главе на стр. 47 указывается, что в качестве материалов для последующего анализа были использованы образцы модельных сплавов Fe-10% Ni (70 г) с дальнейшим добавлением Ti и Zr или Mg. Желательно, чтобы соискатель, дал пояснения по выбору модельных сплавов и системы раскисления.

4. На странице 124, рисунок 52, представлены результаты комплексного раскисления стали. На данном рисунке видно, что при увеличении количества

элементов-раскислителей равновесное содержание кислорода снижается. Однако известно, что существуют рациональные значения содержания элементов-раскислителей, которые обеспечивают минимальное остаточное содержание кислорода в расплаве.

5. Одной из необходимых технологических операций, при выплавке IF сталей, является обработка стали в циркуляционном вакууматоре, при этом не рассмотрены технологические параметры обработки расплава в данном металлургическом агрегате, например не указан расход газа во впускной патрубок вакуум-камеры.

6. Автором указано, что «Практическая значимость подтверждается полученной справкой от ПАО «Северсталь» об использовании результатов диссертационной работы в промышленных условиях». Но в диссертационной работе справки нет.

В отзыве официального оппонента Житенева А.И. приведены следующие замечания:

1. В работе многократно отмечается длительность и трудоемкость металлографического анализа, что неверно. При отработанной методике пробоподготовки и анализа с использованием анализаторов изображения полная оценка плавки в автоматизированном режиме проводится за 15-20 минут. В то же время автор не отмечает многочисленные трудности подготовки образцов для газового анализа – влияние технологии резки и механической обработки, влияние шероховатости, требования к точности измерения массы навески, сорбирующая способность поверхности графитового тигля и другие.

2. Практически нельзя соотносить типы включений, найденные в модельной стали Fe-10%Ni с включениями в реальной IF-стали, что подтверждают результаты, приведенные самим автором.

3. В главе 3 явная методологическая нестыковка: образцы, отобранные из ковша автором исследованы методом электролитического осаждения, а образцы с Предприятия 2 с помощью электронного микроскопа на обычных шлифах. Насколько корректно сравнивать между собой данные, полученные разными методами?

4. При анализе промышленной технологии автор приводит общую массу присаживаемых раскислителей и модификаторов, но не дает сведений о массе плавок, что не позволяет оценить удельные расходы. Также желательно привести химический состав стали на разных этапах, так как соотношение концентраций кальция, алюминия и серы позволяет косвенно оценивать степень модифицированности и прогнозировать затягивание или размытие разливочных стаканов.

5. Термодинамические расчеты модифицирования сталей кальцием проведены с допущением образования единственного оксида, когда его активность принимается в расчетах равной единицы. На практике мы видим, что при обработке кальцием формируются различные алюминаты кальция, содержащие, кроме того, оксиды магния.

6. Одной из главных проблем производства рассматриваемых сталей являются поверхностные дефекты, но сведения об отсортировке до внедрения рекомендаций и после отсутствуют.

7. В главе 4 автор приводит результаты измерений размера зерен в разных листах IF-сталей, определенные на поперечных шлифах, в то время как в прокатке оценивать размеры зерен следует на продольных. Возможно, это явилось причиной не выявленного влияния размера зерна на характер разрушения образцов при испытаниях на растяжение.

Соискатель Горкуша Дмитрий Витальевич ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы, приведя собственную аргументацию, дополнив информацию касательно некоторых аспектов исследования, например, пояснив выбор сплава Fe-10% Ni для исследований тем, что данный сплав с дальнейшим добавлением Ti и Zr или Mg использовался как модельный сплава для методологических исследований совместного метода ФГА и ЭР ЭЗМА с целью проверки корреляции полученных результатов и дальнейшего применения данного метода на промышленных сталях, приведена аргументация по технологическим аспектам получения низкого содержания углерода и азота, указано, что для достижения низкого содержания азота необходимо контролировать его содержание в чугуне, также оптимизировать шлаковый и

дутьевой режимы при выплавки стали в конвертере, чтобы избежать подсоса воздуха из атмосферы, отказаться от использования установки ковш-печь, для получения низкого содержания углерода необходимо эффективно проводить операцию обезуглероживания стали на циркуляционном вакууматоре достигая оптимального соотношения углерода к окисленности перед приходом на вакууматор, разъяснено влияние размера зерна на величину ВН эффекта, показано, что в образцах где ВН эффект отсутствовал размер зерна был больше чем в тех партиях, когда ВН эффект наблюдался, и косвенно анализировалось влияние размера зерна на наличие брака по площадке текучести, однако прямой взаимосвязи между размером зерна и браком по площадке текучести нет. Приведена аргументация в пользу использования метода ФГА для анализа неметаллических включений как инструмента технологического контроля. Приведены аргументы для использования кальция для модификации неметаллических включений, показано положительное влияние кальция на морфологию неметаллических включений, который модифицирует неметаллические включения в глобулярную форму, которые хорошо удаляются из жидкой стали и являются менее вредными для технологичности процесса и конечного продукта.

Соискатель Горкуша Дмитрий Витальевич согласился с замечаниями по оформлению и с замечаниями, носящими рекомендательный характер касательно исследований, которыми можно дополнить работу.

В ходе заседания диссертационного совета выступающие в свободной дискуссии отметили, что в работе сделано очень много интересного в части всего, что касается неметаллических включений и в части упрочняющего ВН эффекта, однако в части предложений по технологии в автореферате не содержится конкретной информации. Касательно предложенной технологии, отмечено, что это то, к чему нужно стремиться, но в текущих условиях не всегда достижимо. Однако все вопросы и замечания носят рекомендательный характер. Методически работа построена очень хорошо.

На заседании 22.03.2022 диссертационный совет принял решение за решение научной задачи, имеющей существенное значение для

металлургической области, а именно за определение ключевых технологических параметров достижения ВН – эффекта в сталях класса IF, определение оптимальных диапазонов значений углерода эффективного, общего углерода и азота и разработку и реализацию предложенного метода количественного определения неметаллических включений комбинацией фракционного газового анализа и электролитического растворения с последующим микрорентгеноспектральным анализом неметаллических включений на растровом электронном микроскопе, что позволило доказать ключевую роль включений оксидов титана на процессы зарастания разливочных стаканов присудить Горкуше Дмитрию Витальевичу ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 6 докторов наук по специальности 2.6.2. Металлургия черных, цветных и редких металлов, участвовавших в заседании, из 24 человек, проголосовали: за 18, против нет, недействительных бюллетеней нет.

Председатель
диссертационного совета Колокольцев Валерий Михайлович

Ученый секретарь
диссертационного совета Мезин Игорь Юрьевич
22.03.2022 г.