

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Хорошилова Андрея Дмитриевича **«Анализ и разработка технологии ковшевой обработки сверхнизкоуглеродистых сталей с целью повышения качества поверхности автолиствого проката»**, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.2 (05.16.02) – «Металлургия черных, цветных и редких металлов»

Развитое конкурентоспособное автомобилестроение является важным фактором для развития многих отраслей экономики и увеличения уровня качества жизни. Дизайн современных автомобилей, востребованных на рынке, определяет высокие требования к используемым кузовным материалам в части их способности в глубокой вытяжки в сочетании с необходимыми прочностными свойствами. Применение кузовных сталей старого поколения, наподобие стали 08Ю, не позволяет получать необходимую геометрию кузова автомобиля. В этой связи развитие получили сверхнизкоуглеродистые (содержание углерода не более 0,004%) IF-стали. Контроль содержания примесей внедрения в данных сталях, позволяет достигать необходимой глубины вытяжки изделий при получении требуемых прочностных свойств готовой продукции.

Освоение промышленного производства IF-сталей российскими компаниями началось в 2000-х годах, с практически 20 летним отставанием от мировых лидеров в данном направлении. Технология производства сверхнизкоуглеродистых сталей подразумевает обязательное проведение на последних этапах ковшевой обработки вакуумного обезуглероживания расплава стали растворенным в металле кислородом. Только после этого проводят финальное раскисление стали, таким образом, на рафинирование расплава от неметаллических включений практически не остается времени.

Повышенная загрязненность стали неметаллическими включениями, как показано в работе, вызывает проблемы с разливаемостью стали из-за алюминатных отложений в разливочном канале, что приводит снижению темпов производства и становится причиной образования поверхностных дефектов проката. Данное обстоятельство, существенно осложняет производство этого сортамента сталей металлургическими компаниями.

Еще одним важным аспектом производства сортамента IF-стали является сложность прогнозирования температуры расплава стали в процессе проведения вакуумного кислородного рафинирования. Неполучение заданной температуры расплава в конце вакуумной обработки влечет за собой необходимость проведения операций по корректировке температуры, что крайне нежелательно при производстве данного сортамента, особенно если применяют химический подогрев.

Таким образом, представленная к защите диссертационная работа, направленная на разработку технологии ковшевой обработки IF-сталей, позволяющую решить проблемы прогнозирования по ходу ковшевой обработки температуры расплава стали, загрязненности ее неметаллическими включениями, а также - улучшить разливаемость стали и снизить отсортировку проката по поверхностным дефектам безусловно **являются актуальными**.

Проведены масштабные исследования, включающие изучение мирового опыта производства IF-сталей, теоретические расчеты, лабораторные исследования неметаллических и поверхностных дефектов на современном оборудовании и отработку технологий производства сверхнизкоуглеродистых сталей в условиях кислородно-конвертерного цеха ПАО «Северсталь».

Следует отметить, что Хорошилов А.Д. проводил обширные промышленные исследования на непростом объекте – в кислородно-

конвертерном цехе ПАО «Северсталь». Построенный в середине 80-х годов прошлого века этот цех имел ряд серьезных недостатков, часть из которых не удалось устранить при его многостадийной модернизации. Во-первых, из-за отсутствия резервных площадей для полноценного развития участка ковшевой обработки стали не удалось разместить там RH-вакууматор, самый эффективный агрегат для глубокого обезуглероживания. Во-вторых, наличие в период исследований лишь одного агрегата типа «ковш-печь» осложняло управление температурным режимом при ковшевой обработке стали. В-третьих, в отделении непрерывной разливки стали линейное расположение машин (осложненная цеховая логистика), причем в период исследований четыре из пяти МНЛЗ имели промежуточные ковши малой вместимости (около 25 т), что приводит к увеличенному охлаждению металла по ходу разливки.

К **научной новизне** диссертационной работы следует отнести следующие положения:

1. Установлена природа образования дефектов поверхности плена на прокате IF-стали. Показано, что большая часть дефектов образуется вследствие раскатки крупных скоплений неметаллических включений, представляющих собой частицы шлакообразующей смеси кристаллизатора и скопления включений на основе оксида алюминия, присутствующих, как в отдельности, так и совместно.
2. Предложен и подтвержден единый механизм попадания скоплений неметаллических включений, приводящих к образованию дефектов поверхности проката, в разливаемую заготовку, связанный с процессом налипания эндогенных неметаллических включений на основе оксида алюминия на поверхности огнеупорной стальпроводки и последующим их срывом в кристаллизатор.

3. Рассчитаны термодинамические условия модифицирования кальцием включений оксида алюминия до жидкого агрегатного состояния. Показано, что полученная модель количественно описывает процесс комплексного раскисления сверхнизкоуглеродистой стали алюминием и кальцием с учетом взаимодействия продукта реакции – алюмината кальция, с серой, растворенной в расплаве стали.

4. Показана возможность модифицирования включений оксида алюминия в околошлаковой зоне без использования металлического кальция. Предложен механизм модифицирования включений на основе оксида алюминия кальцием, находящимся в расплаве стали в условном равновесии с высокоосновным, раскисленным шлаком.

5. Разработана модель прогнозирования температуры расплава IF-стали при обработке на установке вакуумирования стали в условиях ПАО «Северсталь».

**Практическая значимость** диссертационной работы заключается в следующем:

1. Внедрением разработанной технологии производства сверхнизкоуглеродистой стали в условиях ПАО «Северсталь» достигнуто многократное снижение отсортировки холоднокатаного проката по дефектам поверхности.

2. Увеличен выход годной продукции за счет увеличения количества слябов, разлитых в стационарных режимах, благодаря многократному снижению случаев затягивания элементов огнеупорной разливочной фурнитуры.

3. Прогнозирование температуры стали, по разработанной модели, практически исключило случаи принудительной корректировки температуры расплава IF-стали перед отдачей на разливку.

4. Выбор оптимального целевого состава шлака на внепечной обработке и расчет отдачи шлакообразующих материалов по разработанной модели позволил отказаться от использования плавикового шпата для разжижения шлака, увеличить рафинирующие свойства шлака по отношению к неметаллическим включениям и сере, повысить коэффициент усвоения титана.

Наряду с несомненными достоинствами, по работе следует сделать следующие **замечания**, которые не являются принципиальными:

1. Количество выводов по работе и их порядок приведения не соответствуют приведенным задачам исследования. При этом в пунктах научной новизны отсутствуют цифровые параметры.

2. Термодинамические расчеты в п.4.1 проведены только для температуры 1600 °С, тогда как реальная температура IF-стали во время ковшевой обработки и непрерывной разливки в ККЦ ПАО «Северсталь» изменяется в широких пределах.

3. В диссертации нет четкой формулировки оптимального химического состава исследуемой IF-стали (согласно п.3 целей и задач исследований – это сталь марки 01ЮТ), не приведена группа отделки, по критериям которой оценивалась поверхность холоднокатанного листа IF-стали. Нет информации по содержанию углерода в сталях опытных и сравнительных плавках (кроме таблицы 9). Между тем, это главный критерий соответствия IF-стали. Сталь марки 08ЮТ с содержанием углерода менее 0,010% вряд ли можно отнести к классу IF-стали.

4. В работе нет сформулированной разработанной сквозной технологии производства IF-стали в ККЦ ПАО «Северсталь». Поэтому возникают вопросы о роли прочих параметров ковшевой обработки – окисленности металла на выпуске, основности шлака при обработке на АКП, времени и интенсивности продувки аргоном, и т.д.

5. Не указано, насколько разработанная технология и модели прогнозирования актуальны и применимы на других предприятиях и для других групп сталей. Хотя, например, при производстве около 70 % IF-стали в ККЦ ПАО «ММК», во многом, по опыту ПАО «Северсталь» после циркуляционного вакуумирования осуществляется раскисление ковшевого шлака и модифицирование стали кальцием в основном в виде порошковой проволоки производства АО «Чепецкий механический завод».
6. Считаю неуместным в XXI веке в научной работе обсуждать варварский способ химического нагрева металла.
7. Возникает подозрение, что автор относит кислородный конвертер к металлургическим печам. Иначе как объяснить фразу на с. 20 «Серьезной проблемой конвертерного способа производства стали является попадание большого количества **печного** шлака при выпуске полупродукта в стальковш...». Кроме того, считаю неверным многократное использование термина «**внепечная обработка стали**» применительно к конвертерному производству, правильно – «**ковшевая обработка стали**».
8. В работе отсутствуют материалы публикаций семи конференций, на которых докладывались результаты работы.
9. Диссертация имеет слишком большой объем – 193 с. (даже при использовании для печати шрифта № 12). При этом глава 1 имеет 50 с., а глава 2 - 6 с., глава 3 - 9 с. Представляется чрезмерным деление кандидатской диссертации на шесть глав, представляется возможным объединение глав 2 и 3, а также 5 и 6.
10. К сожалению, текст диссертации имеет опечатки, повторения и т.д. Непонятно, зачем сделана нумерация вверху и внизу страниц. Неудобна для рассмотрения работы сквозная (не по главам) нумерация рисунков, формул и таблиц.

## ОБЩЕЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является законченной научной работой и соответствует критериям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842, и предъявляемым к диссертации на соискание ученой степени кандидата наук, автореферат соответствует содержанию диссертации. Сам автор - Андрей Дмитриевич Хорошилов безусловно заслуживает присуждения искомой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.2 (05.16.02) – «Металлургия черных, цветных и редких металлов».

Официальный  
оппонент

*В. Бигеев*



М.п.

Бигеев Вахит Абдрашитович,  
Профессор кафедры металлургии  
и химических технологий и  
ФГБОУ ВО «Магнитогорский  
государственный технический  
университет им. Г.И. Носова»,  
д.т.н., профессор, специальность  
2.6.2 (05.16.02) – «Металлургия  
черных, цветных и редких  
металлов»

455000, Россия, Магнитогорск, пр. Ленина, 38, МГТУ

тел. (3519) 29-85-73

эл. почта: [v.bigeev11@yandex.ru](mailto:v.bigeev11@yandex.ru)

Я, Бигеев Вахит Абдрашитович, согласен на автоматизированную обработку персональных данных, приведенных в этом документе *В. Бигеев*