

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Житенева Андрея Игоревича
на диссертационную работу
Горкуши Дмитрия Витальевича

«Исследование технологии выплавки и ковшевой обработки низкоуглеродистых сталей класса IF для глубокой вытяжки с целью повышения качества продукции»

представленную к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.2. Metallургия черных, цветных и редких металлов

Диссертационное исследование Дмитрия Витальевича Горкуши направлено на решение научной и технической проблемы получения качественных современных сталей для глубокой вытяжки для автомобилестроения. Потребность производителей автомобилей в качественном прокате с высоким качеством поверхности, а также с жесткими требованиями по механическим свойствам сегодня не вызывает сомнения. Особенностью таких сталей является то, что их конечные свойства формируются как при непосредственном производстве на металлургических предприятиях, так и при дальнейшей переработке проката за счет эффекта термомеханического старения.

Рассмотренные в работе сверхнизкоуглеродистые стали типа IF являются сложными для раскисления и модифицирования. В этих сталях образуются тугоплавкие включения в процессе ковшевой обработки, что приводит к затягиванию разливочных стаканов, снижению скорости разливки и к отсортировке по поверхностным дефектам. Все это, а также жесткие требования к содержанию азота и углерода, определяет актуальность работы.

Структура и основное содержание работы.

Работа состоит из введения, четырех глав, выводов и списка литературы.

В первой главе диссертантом проведен подробный аналитический обзор литературы по теме исследования. Проведена классификация сталей для автомобилестроения, рассмотрен так называемый ВН-эффект для управления свойствами готовых деталей. Освещены исследования влияния химического состава стали, особенно влияние микролегирующих добавок, таких как титан и ниобий на величину ВН-эффекта. Показано, как влияет содержание серы.

ФГБОУ ВО «ИГТУ им. Г.И. Носова»	
за № _____	
Дата регистрации	03.03.2022
Фамилия регистратора	

В первой главе также рассмотрены известные особенности формирования неметаллических включений (НВ) в IF-сталях, их отличия от НВ в обычных углеродистых и микролегированных сталях. Подробно рассмотрены достоинства и недостатки методов исследования и оценки включений.

На основе проделанного анализа литературы диссертантом сформулирована цель работы и поставлены задачи для ее реализации.

Вторая глава посвящена разработке подхода к исследованию включений, основанного на применении метода фракционного газового анализа (ФГА) для определения объемной доли включений, а также электролитического осаждения (ЭО) и последующего изучения НВ после фильтрации осадка. Автор подробно описывает материалы и все методы исследования, достаточно полно излагает схему проведения лабораторных опытов. Описана методика исследования включений методом ФГА и методом ЭО. Автором приведены ссылки на работы коллег из Королевского технологического института Стокгольма, как главных разработчиков методов электролитического осаждения включений на сегодняшний день. По-видимому, дополнительно следовало бы упомянуть, что этот метод существует с середины прошлого века и успешно применялся как в России, так и за рубежом, и здесь речь идет об его усовершенствовании.

В этой главе автором рассмотрена модельная сталь, раскисленная титаном и цирконием по разным схемам. Выявлены три основных типа включений в образцах: сферические включения с большим количеством оксидов железа, жидкие при температурах плавки круглые включения с ядром оксида железа, вокруг которого расположены оксиды титана и циркония, и кластеры оксидов циркония. ФГА, сделанный на данных образцах, показал наличие схожих типов НВ.

Однако, выбор модельной системы, а именно Fe-10%Ni является неоднозначным так как основной материал исследования это сверхнизкоуглеродистые стали типа IF, в которых никеля нет вообще. Кроме того, в рассмотренных лабораторных опытах общее содержание кислорода в готовых образцах находится в диапазоне 100-600 ppm, что гораздо выше, чем в промышленно-произведенной стали. Поэтому, типы НВ в лабораторных образцах полностью отличаются от НВ в сталях, полученных, например, в ККЦ.

Тем не менее, применительно к рассмотренной модельной системе показана хорошая сходимость ФГА и ЭА.

В третьей главе диссертации автором рассмотрены технологии получения IF-сталей на двух разных предприятиях как с отличающимся порядком обработки на агрегатах, так и схемой раскисления, модифицирования и микролегирования. На первом предприятии сталь

сначала вакуумируют на циркуляционном вакууматоре, затем обрабатывают на установке печь-ковш, раскисляют, микролегируют и разливают на машине непрерывного литья заготовок. На втором предприятии сталь вначале обрабатывают на печи-ковше, затем вакуумируют, раскисляют, и, что важно, модифицируют кальцием. Автор исследовал поведение включений и газов по ходу ковшевой обработки, анализируя пробы, отобранные на разных стадиях. В работе приведены результаты исследований разными методами, оценено общее содержание кислорода, определено количество разных типов включений и определена их морфология. Оригинальное совместное применение ФГА и электролитического осаждения позволило достаточно исчерпывающе описать протекающие при обработке стали в ковше процессы. Автором были выявлены основные группы включений в изученных сталях, полученных на разных предприятиях, и показано, что модифицирование кальцием является решающей технологической операцией, позволяющей минимизировать в стали количество кластеров корунда, переведя их в благоприятные НВ округлой формы. Также очень явно показано, что схема обработки с вакуумированием после обработки на печи-ковше, и с обработкой кальцием, позволяет получить значительно более чистый по кислороду и включениям металл. Эффективное модифицирование включений позволяет перевести их в такое состояние, когда они удаляются не только при очистительной продувке аргоном в ковше, но и при нахождении жидкой стали в промежуточном ковше.

В четвертой главе рассмотрены вопросы получения требуемой величины ВН-эффекта в IF-стали. В ходе аналитической работы автором показано, что в российский сталях данного класса больше углерода, чем в зарубежных, и это требует определенных технологических решений. Анализ статистических данных о величине ВН-эффекта и химического состава исследуемых рулонов позволил установить требования к химическому составу IF-ВН-сталей для получения наибольшей величины ВН-эффекта: содержание общего углерода и азота в металле менее 40 ± 2 ppm, содержание углерода эффективного в диапазоне 7-20 ppm. Важность получения требуемых значений по эффективному углероду подтверждает исследование, в котором диссертантом показано, что при прочих равных условиях размер зерна не оказывает влияние ни на наличие площадки текучести, ни на ВН-эффект, а главным определяющим фактором являются концентрации микролегирующих, от которых и зависит концентрация эффективного углерода.

С помощью программного комплекса ThermoCalc автором проведены термодинамические расчеты фазовых равновесий для IF-сталей разного состава. С

помощью этого автором определены критические концентрации микролегирующих элементов для обеспечения требуемого значения эффективного углерода при разных содержаниях общего. Так, для содержания углерода и азота в сталях, получаемых по существующей технологии, в 45 ± 6 ppm и 48 ± 6 ppm, соответственно, требуется 160-180 ppm Ti и 170-190 ppm Nb из расчета эффективного углерода в 20 ppm. Для содержания углерода и азота в стали в 42 ± 2 ppm, рекомендуемых автором, для микролегирования будет необходимо уже менее 140 ppm Ti и около 155 ppm Nb. При достижении значений углерода и азота менее 30 ppm каждого, как в зарубежных аналогах, для микролегирования необходимо менее 100 ppm Ti и менее 80 ppm Nb.

Используя аппарат констант раскисления автор провел термодинамический расчет процесса раскисления стали алюминием и кальцием, что позволило определить требуемые концентрации кальция для формирования моноалюмината кальция и трехкальциевого алюмината.

Рассмотрены особенности ведения плавки и ковшевой обработки применительно к каждому агрегату от кислородного конвертера до МНЛЗ и предложены рекомендации для получения требуемых содержаний углерода, микролегирующих, вредных примесей и неметаллических включений.

В завершении работы автором сформулированы выводы по всей диссертации.

Научная значимость и новизна работы в основном заключается в разработке научно-обоснованных требований к химическому составу IF-сталей, включающих концентрации углерода, азота и микролегирующих добавок, а также в создании нового комплекса методов для исследования включений, основанного на совместном использовании ФГА и ЭО, позволяющих детально исследовать природу и эволюцию неметаллических включений.

Практическая значимость заключается в том, что автором показано, как на отечественных предприятиях получать IF-сталь высокого качества, не уступающую зарубежным аналогам, и способных полностью удовлетворить нужды отечественного автопрома. Результаты внедрены в действующее производство, что подтверждает полученная от ОАО «Северсталь» справка о внедрении результатов работы.

Тем не менее, по работе есть некоторые 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 на Предприятии 1 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 плавков, 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 разливаемых 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 серьезных проблем производства рассматриваемых сталей являются поверхностные дефекты, но сведения об отсортровке 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 прокате оценивать размеры зерен следует на продольных. Возможно, это явилось причиной не выявленного влияния размера зерна на характер разрушения образцов при испытаниях на растяжение.

Указанные замечания не снижают общую высокую научную значимость работы.

В целом, диссертационная работа Дмитрия Витальевича Горкуши выполнена на высоком современном научно-техническом уровне и представляет законченное

исследование. Работа полностью соответствует отрасли технических наук, а именно специальности 2.6.2. Metallургия черных, цветных и редких металлов.

Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертации.

Результаты работы изложены на 14 российских и международных конференциях и опубликованы в 20 статьях, 5 из них в журналах из перечня, рекомендованных высшей аттестационной комиссией.

Считаю, что диссертационная работа «Исследование технологии выплавки и ковшевой обработки низкоуглеродистых сталей класса IF для глубокой вытяжки с целью повышения качества продукции» полностью удовлетворяет требованиям пунктов 9-11 и 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 N 842, а ее автор, Дмитрий Витальевич Горкуша, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.2. Metallургия черных, цветных и редких металлов.

Я, Житенев Андрей Игоревич, даю согласие на включение своих личных данных в аттестационное дело Горкуши Д.В.

Официальный оппонент

Кандидат технических наук 05.16.02 – «Metallургия черных, цветных и редких металлов», ведущий инженер научно-технологического комплекса «Новые технологии и материалы», ФГАОУ ВО СПбПУ, г. Санкт-Петербург

Житенев Андрей Игоревич

С-Пб, ул. Политехническая, 29

Тел.: +79095832986

Эл. почта: zhitenev_ai@spbstu.ru

Подпись А.И. Житенева удостоверяю

