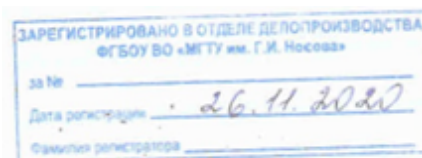


**ОТЗЫВ**  
**ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

на диссертацию **Ушакова Сергея Николаевича**  
«Разработка технологии производства трубной ультранизкосернистой  
стали в современном кислородно-конвертерном цехе»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических  
наук по специальности 05.16.02 – **Металлургия черных, цветных и редких  
металлов.**

**Актуальность диссертационной работы.**

Требования к эксплуатационным характеристикам, предъявляемые к трубным маркам стали, зависят от условий эксплуатации труб. Современные трубы работают в коррозионно- и химически активных средах, в условиях больших перепадов давления и температуры и т.д. Трубный металл должен характеризоваться высокой прочностью, вязкостью, коррозионной стойкостью, низким содержанием неметаллических включений, вредных примесей (сера, фосфор) и т.д. Диссертационная работа Ушакова С.Н., посвященная разработке технологии производства трубной стали марки DNV SAWL 485 FD для условий ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» с ультранизким содержанием вредной примеси -серы, является актуальной. Выполненная работа Ушаковым С.Н. вносит существенный вклад в развитие технологий производства трубных марок стали с содержанием серы не более 15 ppm. Целью работы является создание технологии получения трубной стали марки DNV SAWL 485 FD с ультранизким содержанием серы для производства толстого горячекатаного листа магистрального газопровода «Северный поток-2».



### **Научная новизна диссертационной работы:**

– установлена зависимость степени ковшевой десульфурации чугуна от отношения массы подаваемой в металл флюидизированной извести к массе магнезия; выявлена более высокая десульфурующая способность магнезия в смеси реагентов; показано, что достижение степени десульфурации 80 % возможно при отношении реагентов, равном 4,3;

– выявлена зависимость между степенью десульфурации металла и отношением массы кусковой извести к массе плавикового шпата на первой стадии обработки стали на агрегате «ковш-печь»; для наиболее эффективного удаления серы рекомендуется иметь данное отношение в интервале 1,9...2,4;

– определена зависимость степени десульфурации металла от интенсивности вдувания флюидизированной извести в потоке аргона для второй стадии обработки стали на АКП; для интенсификации удаления серы рекомендуется вдувать флюидизированную известь с интенсивностью 14–15 кг/(м<sup>3</sup>·мин);

– установлена зависимость коэффициента распределения серы от удельного расхода флюидизированной извести на АКП, согласно которой при рекомендованном расходе флюидизированной извести от 2,2 до 2,8 кг/т итоговый коэффициент распределения серы увеличивается с 220 до 275.

### **Практическая значимость работы**

В кислородно-конвертерном цехе ПАО «ММК», используя результаты диссертационной работы, произведены непрерывнолитые слябы из трубной стали марки DNV SAWL 485 FD с содержанием серы не более 0,0015 %, на стане «5000» произведен горячекатаный лист толщиной 30,9 и 34,6 мм для электросварных прямошовных труб, для ПАО

«Челябинский трубопрокатный завод» отгружено 451673 т листа. Получен значительный экономический эффект. Результаты исследований могут быть использованы в учебном процессе при изучении металлургических дисциплин.

### **Степень достоверности и апробация результатов**

Степень достоверности результатов обеспечивается производством по разработанной технологии более 470 тыс. т непрерывнолитых слябов из трубной стали с содержанием серы менее 0,0015 %, результатами промышленных экспериментов и статистическим анализом.

Основные положения работы доложены и обсуждены на XV Международном Конгрессе сталеплавильщиков и производителей металла (Тула, октябрь 2018 г.), международной научной конференции, посвященной 115-летию со дня рождения академика А.М. Самарина «Физико-химические основы металлургических процессов» (Москва, ИМЕТ РАН, ноябрь 2017 г.), международной конференции «Современные проблемы электрометаллургии стали» (Челябинск, ЮУрГУ, 2019 г.).

Материалы диссертации опубликованы в 11 научных трудах, в том числе – в 4 рецензируемых изданиях из перечня ВАК РФ, в 2 статьях – в журналах, индексируемых в международной наукометрической базе Scopus, в одной монографии и 4 статьях в других изданиях.

**Диссертация состоит** из введения, четырех глав и заключения, изложена на 124 страницах печатного текста, содержит 37 рисунков, 4 таблицы, список литературы из 134 наименований и имеет 2 приложения. Содержание диссертации достаточно адекватно и полно отражено в тексте автореферата.

*В первой главе* показан спрос в России и за рубежом на трубы большого диаметра для магистральных газопроводов, эксплуатируемых в

экстремальных северных условиях, агрессивной морской среде и др., а также сформулированы требования к служебным свойствам и химическому составу трубной стали.

*Во второй главе*, на основании литературных источников (рассмотрено 134 литературных источника) проведен анализ влияния серы на механическую прочность, ударную вязкость (особенно в поперечном прокатке направлении), свариваемость, антикоррозионные и другие служебные свойства стали;

показано, что вредное влияние серы на свойства стали снижается при увеличении содержания в ней марганца, кальция, редкоземельных металлов;

рассмотрены существующие способы и условия для проведения десульфурации чугуна и стали.

*В третьей главе* описана базовая технология ковшевой обработки чугуна, выплавки полупродукта в кислородном конвертере, внепечной обработка стали на агрегате «ковш-печь» и циркуляционном вакууматоре, непрерывной разливки стали на МНЛЗ. Подробно описана конструкция агрегатов и оборудования, а также этапы десульфурации металла:

на УДЧ (установка десульфурации чугуна) с помощью инжектирования потоком азота смеси, состоящей из магнезия и флюидизированной извести;

во время выпуска полупродукта из конвертера в стальковш вводится твердая шлакообразующая смесь из извести и плавикового шпата;

на агрегате «ковш-печь» десульфурация стали проводится сначала под «белым» шлаком, а затем путем вдувания аргоном флюидизированной извести.

Показаны способы и оборудование для определения текучести и состава флюидизированной извести, химического состава металла и шлака.

*В четвертой главе* приведены результаты экспериментальных исследований, установлены зависимости степени десульфурации чугуна от продолжительности продувки азотом, суммарного расхода флюидизированной извести и магнезия, и от отношения их расходов. Показано, что при уменьшении отношения массы извести к массе магнезия в десульфурующей смеси с 6,5 до 3,8, эффективность десульфурации возрастает, что свидетельствует о более высокой десульфурующей способности магнезия в смеси реагентов. После внедрения технологии десульфурации чугуна на УДЧ (установка десульфурации чугуна) на производстве удалось получить конечное содержание серы в чугуне на уровне 0,003 % и степень десульфурации – 85 %.

Показано, что для получения в конечном продукте  $[S] < 15$  ppm, содержание серы в чугуне не должно превышать 0,005 %, содержание серы в полупродукте не должно превышать 0,015 %. В работе установлено, что степень десульфурации металла во время выпуска полупродукта нестабильна из-за недостаточно надежной отсечки конвертерного шлака и составляет в среднем 24 %.

Основной вклад в процесс десульфурации стали вносит обработка на агрегате «ковш-печь». Выявлена зависимость между степенью десульфурации металла и отношением массы кусковой извести к массе плавикового шпата, показано, что наиболее эффективное удаление серы достигается при соотношении в диапазоне 1,9–2,4 (до  $[S]=0.0048\%$ ). Показано, что рекомендуемая интенсивность вдувания флюидизированной извести составляет 14–15 кг/(м<sup>3</sup>·мин), расход - 2,2 - 2,8 кг/т. Показано, что достигнутая на массиве промышленных плавок (539 шт) стали марки DNV SAWL 485 FD степень десульфурации составила 83 %. Разработанная технология десульфурации металла позволяет получать трубную сталь для производства электросварных прямошовных труб большого диаметра с содержанием серы менее 0,0015 %. С использованием разработанной

технологии десульфурации произведен горячекатаный лист толщиной 30,9 и 34,6 мм для производства электросварных прямошовных труб по проекту «Северный поток-2».

*Замечания.* При общей положительной оценке диссертационной работы можно сделать ряд замечаний.

1. В диссертационной работе для представленного массива промышленных плавов отсутствует необходимая для анализа информация об окисленности полупродукта, химическом составе и массе конвертерного шлака, попадающего в сталь-ковш во время выпуска полупродукта, и их влиянии на расход раскислителей, ТШС и степень десульфурации.

2. В литературном обзоре отсутствует информация об опыте получения содержания серы в трубных марках стали ниже 15 ppm на отечественных предприятиях ПАО «Северсталь», ОАО «ОМК» и т.д.

3. В диссертационной работе проведен статистический анализ массивов результатов промышленных плавов, рассчитаны средние значения различных параметров (таблица 4.1, 4.2; рисунок 4.4, 4.7, 4.9), но не показаны значения среднеквадратических отклонений, что исключает возможности оценки диапазона «разброса» данных. В работе отсутствуют массивы исходных данных.

4. На рисунке 4.4 показаны средние значения содержания серы на различных этапах производства: в конвертере перед выпуском, в сталеразливочном ковше на АКП до начала обработки (после выпуска полупродукта и обработки ТШС), в сталеразливочном ковше на АКП перед вдуванием извести (после обработки стали «белым» шлаком), в промежуточном ковше на МНЛЗ. К сожалению, не показано содержание серы в пробах после обработки металла флюидизированной известью и до обработки стали на циркуляционном вакууматоре. Уменьшение содержания серы металле с 48 ppm до 13 ppm может происходить не

только за счет обработки флюидизированной известью, но из-за десульфурации стали на циркуляционном вакууматоре.

5. В диссертационной работе имеются опечатки, стилистические не выверенные формулировки:

на странице 43 автор утверждает, что «Основной задачей обработки металла на агрегате «ковш-печь» (АКП) является удаление серы», вероятно, автор подразумевал, что десульфурация металла на АКП является *одной из основных* задач, так как процессы раскисления, легирования, нагрева, рафинирование от неметаллических включений стали и т.д. нельзя исключить из перечня основных операций на агрегате «ковш-печь»;

на странице 46 написано «Образующийся при введении кальция оксид СаО, взаимодействуя с частицами  $Al_2O_3$ , обеспечивает возникновение менее тугоплавких неметаллических включений; ...», но не рассматривается возможность взаимодействия растворенного в металле Са с частицами  $Al_2O_3$ ;

на странице 62 при перечислении основных технологических операций процесса выплавки полупродукта в кислородном конвертере не указана операция промежуточного скачивания шлака;

на страницах 19, 26, 28, 44 показаны рисунки без ссылок на источники;

в уравнениях 4.1-4.6 расшифрованы не все обозначения;

Тем не менее, после сделанных замечаний, общая оценка выполненной работы остается положительной. Работа оформлена в соответствии с действующими стандартами. Научные положения диссертации теоретически и экспериментально обоснованы, согласуются с известными литературными данными.

**Заключение.** Представленная кандидатская диссертационная работа демонстрирует необходимый квалификационный уровень, соответствует критериям, установленным "Положением о присуждении ученых степеней" согласно Постановлению Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. N 842, г. Москва. Автор диссертационной работы «Разработка технологии производства трубной ультранизкосернистой стали в современном кислородно-конвертерном цехе» Ушаков Сергей Николаевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – «Металлургия черных, цветных и редких металлов».

Старший научный сотрудник  
ФГБУН «Институт металлургии и  
материаловедения  
им. А.А. Байкова» РАН, г. Москва,  
кандидат технических наук,  
специальность 05.16.02 –  
«Металлургия черных, цветных и  
редких металлов»



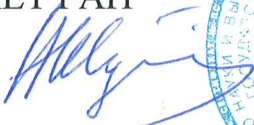
Комолова Ольга Александровна

23.11.2020

119334, Москва, Ленинский проспект, д.49  
Тел.: +7(499)135-94-45  
E-mail: o.a.komolova@gmail.com

Подпись О.А. Комоловой заверяю:

заместитель директора ИМЕТ РАН  
по общим вопросам,  
кандидат химических наук



Шумилкин Николай Сергеевич

Я, Комолова Ольга Александровна, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Ушакова Сергея Николаевича, и их дальнейшую обработку 