



**Смирнов**

*Леонид Андреевич*

*академик*

тел.: 374-03-91, 374-84-47, факс: 374-14-33

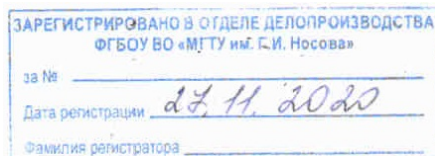
e-mail: [uim@ural.ru](mailto:uim@ural.ru), [smirnov@uim-stavan.ru](mailto:smirnov@uim-stavan.ru)

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

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

### **Актуальность работы.**

Одним из важнейших требований к трубным сталям для магистральных газопроводов является минимальное содержание серы, особенно для труб, прокладываемых по морскому дну. В связи с этим исследования автора, направленные на разработку промышленной технологии производства трубной стали SAWL 485 FD с содержанием серы менее 0,0015 %, актуальны и востребованы. Практическая значимость работы очевидна – трубный металл, полученный по разработанной технологии, использован для прокладки газопровода «Северный поток 2» в Германию по дну Балтийского моря. В следующем году, несмотря на санкции, газопровод должен быть введён в действие, что позволит минимизировать транзит газа через третьи страны. Таким образом, диссертационные исследования востребованы, тема работы актуальна и сомнений не вызывает.



### **Оценка содержания диссертации.**

Первая глава диссертации посвящена обзору и анализу публикаций по данной тематике. Рассмотрены составы и тенденции развития трубных сталей для магистральных газопроводов, влияние легирующих элементов и вредных примесей, требования к микроструктуре, свариваемости, коррозионной стойкости трубного металла. Показана востребованность данных сталей для реализации проектов по транспортировке природного газа в России, в странах СНГ и дальнего зарубежья. Показано, что спрос на трубы большого диаметра для магистральных газопроводов, в том числе эксплуатируемых в северных условиях и агрессивной морской среде, будет возрастать. Для достижения показателей ударной вязкости металла газопроводных труб класса К60 и выше (не менее  $250 \text{ Дж/см}^2$ ), эксплуатируемых в условиях Севера и морской среде, подчеркнута необходимость глубокой десульфурации стали с достижением ультранизкого содержания серы в готовом металле (0,001-0,003%).

Вторая глава посвящена анализу существующих способов десульфурации чугуна и стали. Представлен механизм вредного влияния серы и современные способы эффективного обессеривания металла. Сделан вывод, что для уменьшения негативного влияния серы на свойства стали необходимо обеспечивать не только минимальную её концентрацию, но и нахождение в готовом металле в виде глобулярных сульфидных и окисульфидных включений.

Показано, что для обеспечения в готовом металле менее 0,003%S необходимо проводить комплексную последовательную десульфурацию металла:

- внедоменную десульфурацию чугуна при помощи вдувания реагентов (известь, сода, карбид кальция, металлический магний, флюидизированная известь или их смесей) вглубь металла в потоке азота, соинжекции или механического перемешивания;
- обработку стального полупродукта твердой шлакообразующей смесью, состоящей из извести и плавикового шпата в процессе выпуска металла из конвертера
- рафинирование полупродукта от серы на агрегате печь-ковш вдуванием порошковых реагентов (силикокальция, карбида кальция, флюидизированной извести и др.) и наведения «белого» шлака.

Установлено, что процесс десульфурации стали на заключительном этапе может быть эффективно реализован при условии глубокого раскисления металла и наличии жидкоподвижного низкоокисленного шлака с высоким содержанием СаО в сочетании с перемешиванием металла аргоном.

В третьей главе рассмотрена базовая технология производства трубной стали в ККЦ ММК.

Выплавка и обработка трубного металла осуществляется по следующей схеме:

- десульфурация чугуна флюидизированной известью с гранулированным магнием (содержание серы после обработки не более 0,005%S). В связи с особенностями флюидизированной извести автором были рассмотрены методики определения текучести и состава флюидизированной извести в условиях дробильно-обжигового цеха ПАО «ММК».

– выплавка в 370-т конвертере с верхней продувкой;  
– обработка стали на двухпозиционном агрегате «печь-ковш» «SMS-Mevac», при этом десульфурация трубного металла осуществляется по двум вариантам:

- с помощью специально подготовленного «белого» шлака;
- вдуванием в токе аргона флюидизированной извести.

– вакуумирование трубной стали на двухпозиционной установке №2 циркуляционного типа;

– непрерывная разливка на слябовой МНЛЗ №6 SMS Demag.

В четвёртой главе автором изучены особенности производства трубной стали DNV SAWL 485 FD в ККЦ ПАО «ММК», проведена статистическая обработка производственных плавов и разработаны рекомендации по совершенствованию технологии выплавки и сквозной десульфурации данной стали. При проведении промышленных исследований на каждом этапе осуществлялся отбор и анализ проб металла и шлака с использованием современного лабораторного оборудования.

Для достижения поставленной в диссертационной работе цели автором решались следующие задачи:

– оптимизировать технологические параметры и разработать технологию ковшевой десульфурации чугуна, оценить ее эффективность;

– исследовать особенности технологии и уточнить технологические параметры выплавки полупродукта в конвертере для получения трубной ультранизкосернистой стали с ковшевой обработкой твердой шлакообразующей смесью, оценить значимость последней в цикле десульфурации металла;

– разработать технологию ковшевой десульфурации трубной ультранизкосернистой стали на агрегате «ковш-печь» с оценкой ее эффективности;

– изучить особенности и показатели вакуумной обработки и непрерывной разливки трубной ультранизкосернистой стали;

– оценить затраты на производство непрерывнолитых слябов из трубной ультранизкосернистой стали.

Поставленные задачи успешно решены.

Были установлены статистически значимые зависимости степени десульфурации чугуна от продолжительности продувки азотом и суммарного расхода реагентов. Показано, что для обеспечения высокой степени десульфурации чугуна (85% и более) необходимо использовать как флюидизированную известь, так и магний, несмотря на его более высокую стоимость, в соотношении  $\geq 4,4$ .

При выплавке стали в конвертере с верхней продувкой показана необходимость промежуточного скачивания шлака и наведения нового шлака при исключении додувок.

Ввиду отсутствия надёжной отсечки шлака десульфурация полупродукта в сталеразливочном ковше шлакообразующей смесью нестабильна и составляет в среднем около ~25% от общего количества удалённой серы при ковшевой обработке стального полупродукта.

Основной вклад в десульфурацию металла (~75%) вносит этап обработки стали на агрегате «ковш-печь» с наведением «белого» шлака при оптимальном соотношении извести и плавикового шпата в 1,9–2,4 и вдуванием флюидизированной извести в токе аргона с рекомендованной оптимальной интенсивностью 14–15 кг/м<sup>3</sup>·мин.

Автором была предложена формула для моделирования процесса десульфурации при вдувании флюидизированной извести при ковшевой обработке, проведено математическое моделирование и даны рекомендации для гарантированного получения требуемого содержания серы в стали после обработки.

#### **Хотелось бы отметить следующие вопросы и замечания по работе:**

1. Будет ли в ближайшем времени спрос на трубный металл в связи с ухудшением ситуации в мировой экономике и возможным увеличением корабельной транспортировки сжиженного природного газа?
2. Возможно ли применить разработанную технологию десульфурации трубного металла для выплавки других марок стали, а также в условиях другого цеха, например электросталеплавильного на ММК и на других предприятиях?
3. Почему разработанная технология выплавки-десульфурации не была запатентована?

По тексту есть ряд опечаток:

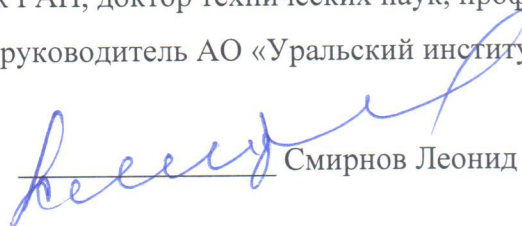
- **стр. 14, второй абзац:** «Например, совершенствование технологии позволило во многих случаях, наряду с микролегирования(ем) ванадием, вводить в состав стали элементы, повышающие устойчивость аустенита: хром, никель, медь, молибден».
- **стр. 55, первый абзац:** «каркас со встроенными помещениями пультов управления и электропомещением, трубопровод газоочистки;– комплекс приу(ё)мных бункеров: два приемных бункера (бункеры хранения), станция (площадка) разгрузки, система газо– и материалопроводов».

**Заключение.** Сделанные замечания не снижают ценности выполненной диссертационной работы и она заслуживает положительной оценки. Полученные

результаты имеют научную и особенно большую практическую значимость. Имеется достаточное количество публикаций в научно-технических изданиях, рекомендованных ВАК, участие в научно-практических конференциях, промышленное внедрение. Представленная диссертационная работа в полном объёме отвечает требованиям п. 9 Постановления Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 «Положения о присуждении ученых степеней», а ее автор – Ушаков Сергей Николаевич заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – «Металлургия черных, цветных и редких металлов».

**Официальный оппонент:**

Академик РАН, доктор технических наук, профессор,  
научный руководитель АО «Уральский институт металлов»

  
Смирнов Леонид Андреевич

Дата подписи: 20.01 2020г.

Подпись Смирнова Л.А. заверяю:

Ученый секретарь АО «Уральский  
институт металлов»,  
кандидат технических наук



А.И. Селетков

Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Гагарина, 14

Телефон: (343) 374-03-91

Факс: (343) 374-14-33

E-mail: uim@ural.ru

Веб-сайт: uim-stavan.ru