

УТВЕРЖДАЮ:

Ректор ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)»,
доктор технических наук, профессор

А.Л. Шестаков

«24» ноября 2020 г.



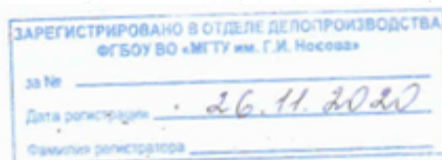
ОТЗЫВ

ведущей организации ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет)

о диссертации 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 – Metallurgy черных, цветных и редких металлов

Актуальность темы исследования

Для экспорта российского газа в страны Европы разработан и реализуется проект прокладки газопровода «Северный поток–2». Часть двух ниток этого газопровода проходят по дну Балтийского моря. Специфика эксплуатации подводных газопроводных систем характеризуется сочетанием высокого внутреннего рабочего давления газа из-за отсутствия промежуточных компрессорных станций и сильного наружного гидростатического давления столба морской воды; агрессивностью морской среды, вызывающей повышенную внешнюю и внутреннюю коррозию. Для реализации проекта «Северный поток–2» необходимы электросварные прямошовные трубы с внутренним диаметром 1153 мм и толщиной стенок до 35 мм, способные выдерживать рабочее давление до 220 атм. Трубы имеют трехслойное наружное и внутреннее покрытие и изготовлены из ультранизкосернистой стали марки DNV SAWL 485 FD в ПАО «Челябинский трубопрокатный завод». Заказ на производство толстого горячекатаного листа из такой стали был размещен в ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат». Лист был прокатан на стане «5000» из непрерывнолитых слябов, произведенных в кислородно-конвертерном цехе. ПАО «ММК» имеет большой опыт в производстве стали для магистральных газопроводов, в том числе классов прочности К60, К65,



X70, X80 и др., в которых содержание серы ограничено 0,003-0,005 %. Однако, задача по разработке в условиях кислородно-конвертерного цеха ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» технологии крупнотоннажного производства трубной стали с ультранизким – не более 0,0015 % содержанием серы решалась впервые в РФ.

Содержание работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и двух приложений. Содержит 124 страницы машинописного текста, включающего 37 рисунков, 4 таблицы, список литературы из 134 источников.

Во введении изложены актуальность работы, степень разработанности темы исследования, цель и задачи работы, научная новизна и практическая значимость исследования, положения, выносимые на защиту, личный вклад автора, степень достоверности и апробация результатов.

В первой главе по литературным данным рассмотрены вопросы востребованности труб для магистральных газопроводов и требования, предъявляемые к служебным свойствам и составу трубной стали. Отмечено, что в России и за рубежом постоянно растет спрос на трубы большого диаметра для магистральных газопроводов, эксплуатируемых в экстремальных северных условиях, агрессивной морской среде. Для изготовления труб большого диаметра требуется толстолистовой прокат с высокими значениями пределов прочности и текучести, ударной вязкости, обладающий достаточной пластичностью, свариваемостью в различных условиях, коррозионной и хладостойкостью при экономном легировании. ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» получил заказ на производство горячекатаного листа толщиной 30,9 и 34,6 мм из ультранизкосернистой стали для изготовления электросварных прямошовных труб по проекту «Северный поток-2». В ККЦ ПАО «ММК» потребовалось разработать технологию производства слябовых непрерывнолитых заготовок из ультранизкосернистой стали марки DNV SAWL 485 FD с содержанием серы не более 0,0015 %.

Во второй главе приведена известная информация о сере в стали, принципах ее удаления из черных металлов, способах ковшевой десульфурации чугуна и стали. Во всех, кроме автоматных, сталях сера является нежелательным компонентом, вызывая снижение механической прочности, ударной вязкости (особенно в поперечном прокатке направлении) и свариваемости металла, ухудшение его электротехнических, антикоррозионных и других служебных свойств. Вредное влияние серы на свойства стали снижается при увеличении содержания в ней марганца, кальция, редкоземельных металлов.

Рассмотрены и сравнены известные способы ковшевой десульфурации жидкого чугуна и стали. Выявлен ряд преимуществ технологий ковшевой десульфурации металла с применением флюидизированной извести.

В третьей главе рассмотрена базовая технология производства трубной стали в ККЦ ПАО «ММК», осуществляемая по схеме: ковшевая обработка чугуна–выплавка полупродукта в конвертере–ковшевая обработка стали на агрегате «ковш-печь»–вакуумирование стали–непрерывная разливка стали на МНЛЗ. За последние годы она существенно модернизирована, и это отражено в третьей главе.

Так, приведены устройство построенной в 2015 году в известково-доломитовом производстве ПАО «ММК» установки немецкой фирмы «Altommet GmbH» и технология производства на ней флюидизированной извести, требования и достигнутые показатели качества изготовленной извести.

Кроме того, приведено описание, в том числе техническая характеристика, установки ковшевой десульфурации чугуна китайской фирмы «Vizardi», пущенной в эксплуатацию в 2016 году.

Рассмотрены методики и оборудование для определения текучести и состава флюидизированной извести (относительно нового металлургического материала), химического состава металла и шлака.

В четвертой главе представлены результаты исследования особенностей технологии производства в ККЦ ПАО «ММК» ультранизкосернистой трубной стали марки DNV SAWL 485 FD.

Автором установлены статистически значимые зависимости степени десульфурации чугуна от продолжительности продувки азотом, суммарного расхода флюидизированной извести и магнезия, а также от отношения их массы. Выявлена более высокая десульфурующая способность магнезия в смеси из двух реагентов.

На первой стадии обработки стали на агрегате «ковш-печь» (АКП) под «белым» шлаком для снижения содержания серы в стали до 0,003–0,005 % выявлена зависимость между степенью десульфурации металла и отношением массы кусковой извести к массе плавикового шпата. Рекомендовано иметь отношение 1,9–2,4. Для второй стадии обработки – глубокой десульфурации стали путем вдувания в потоке аргона флюидизированной извести определена линейная возрастающая зависимость степени десульфурации металла от удельного расхода флюидизированной извести и зависимость от интенсивности вдувания флюидизированной извести. Рекомендована интенсивность вдувания 14–15 кг/(м³·мин). Предложена формула для моделирования процесса десульфурации при вдувании флюидизированной извести на АКП. Проведено математическое моделирование и даны рекомендации для гарантированного получения требуемого содержания серы в стали после обработ-

ки. Общая степень ковшевой десульфурации металла 539 плавок при получении стали марки DNV SAWL 485 FD составила 83 %.

Научная новизна работы заключается в выявлении ряда зависимостей при ковшевой десульфурации чугуна флюидизированной известью в смеси с магнием в потоке азота и при ковшевой обработке трубной стали флюидизированной известью в потоке аргона, позволивших рекомендовать рациональные значения технологических параметров. С учетом полученной экспериментальной зависимости предложена формула для моделирования процесса десульфурации при вдувании флюидизированной извести на АКП, согласно которой для гарантированного получения конечного содержания серы в металле не более 0,0015 % при удельном расходе дорогостоящей флюидизированной извести не выше 2,8 кг/т необходимо иметь начальное содержание серы не более 0,0032 %. Установлено, что процесс десульфурации продолжается и после окончания продувки флюидизированной известью, до начала разливки особонизкоуглеродистой стали из нее удаляется не менее 0,0005% серы.

Практическая значимость работы заключается в том, что по разработанной технологии в кислородно-конвертерном цехе ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» произведены непрерывнолитые слябы из трубной ультранизкосернистой стали марки DNV SAWL 485 FD с содержанием серы не более 0,0015 %, из которых на стане «5000» получено свыше 450 тыс. т горячекатаного листа толщиной 30,9 и 34,6 мм для производства в ПАО «Челябинский трубопрокатный завод» электросварных прямошовных труб по проекту «Северный поток-2». Себестоимость одной тонны непрерывнолитого сляба из стали марки DNV SAWL 485 FD равняется в среднем около 29 тыс. руб., что составляет примерно 72 % от стоимости горячекатаного листа.

Рекомендации по использованию результатов работы

Результаты диссертационной работы могут быть использованы на других металлургических предприятиях, производящих трубную сталь: ПАО «Северсталь», ПАО «Новолипецкий металлургический комбинат», ПАО «ЕВРАЗ-НТМК», ПАО «Челябинский металлургический комбинат», ПАО «Уральская Сталь» и др., а также в учебном процессе высших учебных заведений при изучении металлургических дисциплин.

Замечания по работе:

1. В отличие от общепринятой структуры кандидатской диссертации, вторая глава работы, как и первая, посвящена литературному обзору.

2. Непонятно зачем в работе приводится описание основного цехового оборудования.

3. Отмечается значительный разброс экспериментальных данных, особенно на рис. 4.1–4.3 диссертации.

4. Вызывает сомнение правильность выбора зависимости (4.6) на стр. 98 диссертации.

5. В работе использовано некорректное выражение «себестоимость непрерывнолитого сляба».

Сделанные замечания не изменяют общей положительной оценки рецензируемой работы. В результате ее выполнения была решена важнейшая народнохозяйственная задача.

Диссертация написана технически грамотно и оформлена в соответствии с требованиями стандарта. Автореферат диссертации полностью соответствует ее содержанию.

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

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.).

Общее заключение

Представленная диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технологические разработки производства непрерывнолитых слябов из трубной стали с ультранизким содержанием серы в условиях современного кислородно-конвертерного цеха, имеющие существенное значение для реализации международного проекта строительства газопровода «Северный поток–2».

Диссертация соответствует требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. №842.

