

УТВЕРЖДАЮ

И.о. ректора федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения высшего
образования «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»

Д.В. Терентьев

«15» 02 2023 г.



Отзыв ведущей организации

на диссертационную работу Седухина Вадима Валерьевича «Совершенствование химического состава и технологии выплавки дуплексной марки стали, легированной азотом, в открытой индукционной печи», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.2 – «Металлургия черных, цветных и редких металлов»

Актуальность работы. Для экономики РФ нефтегазовая отрасль является стратегически важной и одной из самых высокотехнологичных, и коррозионностойкая сталь играет в ней критически важную роль. Широкое распространение для изготовления конструкций добывающего комплекса промышленности получили нержавеющие стали аустенитного класса. Однако с началом и интенсификацией работ по поиску и освоению морских запасов нефти и газа к коррозионностойким сталям стали предъявляться новые требования. В связи с этим широкое применение в качестве металла для изделий данного вида добычи получили стали аустенитно-ферритного класса.

В настоящее время широкое применение в качестве конструкционного материала при подводной добыче нефти и газа получила аустенитно-ферритная (дуплексная) сталь марки UNS S32750 (Super Duplex 25Cr), что объясняется 2-мя причинами. Во-первых, Россия не является значимым игроком в мировой отрасли по производству нержавеющей стали (0,4 % от общемирового показателя), а выпускаемый объем продукции (120 тыс. тонн в 2021 году) удовлетворяет не более 25 % потребления общего количества стали различными отраслями промышленности. Во-вторых, значительных объемов производства дуплексных марок сталей, легированных азотом, в России не наблюдается, а ближайшие отечественные аналоги не удовлетворяют конечного потребителя показателями физико-механических и коррозионных свойств.

При разработке и внедрении новых для производителей стали составов коррозионностойких сталей необходимо учитывать, что металлургические производства РФ имеют в своем распоряжении как морально, так и технологически устаревшее оборудование, работоспособность которого, во многом, обеспечена запасом прочности, заложенным в него при введении в эксплуатацию в конце прошлого века.

В связи с этим в настоящее время актуальной является задача по совершенствованию химического состава и технологии выплавки дуплексной марки стали, легированной азотом, в открытой индукционной печи с целью замены аналогов зарубежного производства. Также необходимо отметить, что рассматриваемый состав стали будет являться новым для производителей металла, поэтому также актуальной является задача установления параметров дальнейшего передела, что в итоге должно обеспечить конечную металлопродукцию необходимыми показателями физико-механических и коррозионных свойств.

К научной повизне диссертационной работы следует отнести следующее:

1. Установлено влияние концентрации основных легирующих элементов (Cr, Ni, Mo) на фазовый состав стали UNS S32750, а также влияние легирования ванадием стали исследуемого химического состава. Методом термодинамического моделирования определена температура ликвидус исследуемого состава стали – 1430 °С.

2. Установлена зависимость, описывающая предельную концентрацию азота в стали UNS S32750 и определено значение температуры (1480 °С), которое необходимо применять для выполнения расчетов.

3. Экспериментально установлено, что при выплавке в индукционной печи стали UNS S32750, применение схемы окончательного раскисления «SiCa/кальций металлический из расчета на 0,1 масс. % Ca и никель-магниева лигатура из расчета 2,5 кг/т» позволяет снизить содержание кислорода в стали до значений 0,0019-0,0023 масс. % по сравнению со схемой «алюминий из расчета 1 кг/т, SiCa/кальций металлический из расчета на 0,1 масс. % Ca и никель-магниева лигатура из расчета 1,5 кг/т» – 0,0040-0,0071 масс. %.

4. Определено значение энергии активации процесса динамической рекристаллизации для стали UNS S32750 усовершенствованного состава – 501,3 кДж/моль, позволяющее рассчитать параметр Зинера–Холломона для различных температурно-скоростных режимов деформации.

Практическая значимость работы заключается в использовании результатов проведенной работы на ООО «Златоустовский металлургический завод». С применением полученных положений по усовершенствованному химическому составу, технологических операций индукционной выплавки и установленных параметров горячей деформации в условиях предприятия изготовлена опытная партия трубных заготовок с требуемыми показателями физико-механических и коррозионных свойств. На основании полученных результатов разработана и применяется на настоящее время Временная технологическая инструкция «Производство трубной заготовки из стали марки 03X25H7AM4 (UNS S32750, Super Duplex 25Cr)».

Кроме того, уточненное уравнение для определения предельной концентрации азота в стали позволяет в оперативном режиме производить расчеты для получения бездефектных слитков стали при выплавке.

Также необходимо отметить, что основные научно-технические результаты, представленные в работе, внедрены и используются в учебном процессе при подготовке студентов по направлениям подготовки 22.03.02 и 22.04.02 «Металлургия» в филиале ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» в г. Златоусте.

Достоверность теоретических и практических положений диссертации подтверждается их получением на основе экспериментов, проведенных с использованием современного научного оборудования и апробированных аналитических методов, применением комплекса взаимодополняющих экспериментальных и аналитических методик, и подтверждена их воспроизводимостью.

Личное участие автора заключается в проведении термодинамических расчетов фазового состава дуплексной стали, легированной азотом, в различных концентрациях легирующих элементов и проведении анализа полученных результатов, формулировании рекомендаций для выбора оптимального химического состава. Проведен анализ и уточнение расчетного выражения для определения предельной концентрации азота в дуплексных сталях. В лабораториях кафедры «Техника и технологии материалов» ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» Седухиным В.В. спланированы и проведены работы по выплавке экспериментальных составов дуплексной стали с использованием различных операций технологии индукционной выплавки. Также соискателем проводилась систематическая консультация с техническими специалистами ООО «ЗМЗ» и осуществлялось непосредственное присутствие на всех этапах промышленной апробации.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка используемой

литературы. Объем диссертации составляет 125 страницы, включая 43 рисунка, 18 таблиц и библиографический список из 123 наименований, 2 приложения.

Содержание диссертации достаточно адекватно и полно отражено в тексте автореферата.

Во введении обоснована актуальность решаемой проблемы, сформулированы цель и задачи исследования, представлена научная новизна и практическая значимость работы, перечислены полученные автором результаты.

В первой главе представлено современное состояние исследуемого вопроса. Установлено влияние азота, как легирующего элемента в дуплексных сталях, описана структура вторичных фаз, выделяющихся при кристаллизации дуплексных сталей. Отмечено, что, несмотря на все преимущества дуплексных сталей, легированных азотом, особенно на уровне его концентрации в готовом изделии 0,24-0,32 масс. % (супердуплексе), значительных объемов производства данных марок сталей в России не наблюдается.

Установлено, что ближайшие отечественные аналоги данного класса марок сталей не удовлетворяют конечного потребителя по показателям физико-механических и коррозионных свойств. Однако существующий запрос на изделия из данного класса сталей диктует необходимость разработки их оптимальных составов, технологий выплавки и режимов дальнейших переделов, в том числе для возможности реализации проектов по созданию малотоннажных производств. Выбрана марка стали, представляющая интерес для конечного потребителя, и которая будет являться основой для проведения теоретических и экспериментальных работ – сталь марки UNS S32750.

Во второй главе описаны методики исследования, применяющиеся в ходе работы, в том числе методика термодинамического моделирования; методология уточнения расчетного выражения для прогнозирования предельной концентрации азота в стали исследуемого состава; описание проведения экспериментов по выплавке составов аустенитно-ферритной стали, легированной азотом, с использованием технологии открытой индукционной выплавки; методика физического моделирования горячей деформации стали разработанного состава, а также методологии исследования структуры и показателей физико-механических свойств получаемых материалов.

В третьей главе представлены результаты теоретических (термодинамическое моделирование, уточнение расчетного выражения) и экспериментальных исследований (выплавка в лабораторных условиях составов дуплексных сталей, легированных азотом).

В четвертой главе представлены результаты моделирования горячей деформации стали оптимизированного состава для определения ряда зависимостей, описывающих процесс формирования микроструктуры.

В пятой главе описаны результаты промышленной апробации разработанных научно-обоснованных положений.

В заключении по диссертации сформулированы основные научные положения и изложены достигнутые практические результаты работы.

Результаты работ обсуждены на нескольких Международных конференциях и форумах. В целом, следует отметить хороший уровень и разнообразие экспериментальных и расчетных методов исследования, представленных и использованных автором, квалифицированное обсуждение результатов.

По результатам работы опубликовано 8 работ, из них 6 – в перечне отечественных рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК РФ и 1 поданная заявка на патент РФ.

Рассмотренный материал автореферата диссертации соответствует паспорту специальности 2.6.2 – «Металлургия черных металлов».

По работе имеется ряд замечаний:

1. В автореферате не отражено обоснование по содержанию ряда элементов (C, Si, P, S, Cu) в усовершенствованном составе стали.

2. Не приведены данные о концентрации получаемых в ходе термодинамического моделирования фазовых составляющих.

3. Для получения данных о величине предельной концентрации азота в стали исследуемого состава на этапе термодинамического моделирования имеет место применить программный модуль ThermoCalc.

4. В результатах промышленной апробации не приведены результаты исследования микроструктуры полученных слитков и заготовок.

5. В результатах промышленной апробации не исследования причин низких показателей ударной вязкости при использовании технологииковки.

Сделанные замечания носят частный и рекомендательный характер, и не меняют общего положительного мнения о рецензируемой работе. Автореферат диссертации отражает ее содержание.

ОБЩЕЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании рассмотренных материалов автореферата, диссертационная работа представляет собой законченное научное исследование, позволившее получить оптимизированный состав дуплексной марки стали, легированной азотом, методом открытой индукционной выплавки, с целью замены аналогов зарубежного производства, а также установить параметры дальнейшего передела исследуемого состава стали. Полученные результаты позволили получить конечную металлопродукцию с предъявляемыми к ней показателями физико-механических и коррозионных свойств. Диссертационная работа **Седухина Вадима Валерьевича** соответствует требованиям п.9 Положения о присуждении ученых степеней (Постановление Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842), а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.2 – «Металлургия черных, цветных и редких металлов».

Диссертация рассмотрена и обсуждена, отзыв ведущей организации не нее утвержден на научном семинаре кафедры металлургии и химических технологий, протокол № 3 от «6» февраля 2023 г.

Заведующий кафедрой металлургии
и химических технологий
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»,
доктор технических наук, доцент
05.16.02 Металлургия черных, цветных и редких металлов



(подпись)

/А.С. Харченко/
(Ф.И.О.)

Сведения о ведущей организации: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

Адрес: Россия, 455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38

Телефон: (3519)29-84-01, (3519)29-84-02, 23-57-59 (факс)

e-mail: mgtu@mgtu.ru

Я, Харченко Александр Сергеевич, согласен на автоматизированную обработку данных, приведенных в данном отзыве 