

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.437.01,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АВТОНОМНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ)» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 22.03.2023 г. № 48

О присуждении Седухину Вадиму Валерьевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Совершенствование химического состава и технологии выплавки дуплексной марки стали, легированной азотом, в открытой индукционной печи» по специальности 2.6.2 – «Металлургия черных, цветных и редких металлов» принята к защите 18.01.2023 г. (протокол № 48П) диссертационным советом 24.2.437.01, созданным на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 454080 г. Челябинск, д. 76, утвержденным приказом №105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель Седухин Вадим Валерьевич, 04.10.1991 года рождения, в 2016 году окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет) по направлению 22.04.02 «Металлургия». В 2022 г. окончил очную аспирантуру федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» по направлению подготовки 22.06.01 «Технологии материалов».

В настоящее время работает заведующим учебной лабораторией кафедры «Техника и технологии производства материалов» филиала федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» в г. Златоусте.

Диссертация выполнена на кафедре «Техника и технологии производства материалов» филиала федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в г. Златоусте.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Чуманов Илья Валерьевич, заведующий кафедрой «Техника и технологии производства материалов» филиала федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» в г. Златоусте.

Официальные оппоненты:

- Капуткин Дмитрий Ефимович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры физики, ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет гражданской авиации», г. Москва;

- Мазничевский Александр Николаевич, кандидат технических наук, технический директор ООО «Ласмет», г. Челябинск, дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет имени Г.И. Носова», г. Магнитогорск, в своем положительном отзыве, подписанном заведующим кафедрой металлургии и химических технологий, доктором технических наук, доцентом Харченко Александром Сергеевичем и утвержденном и.о. ректора ФГБОУ ВО

«Магнитогорский государственный технический университет имени Г.И. Носова» Д.В. Терентьевым, указала, что:

- 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».

Соискатель имеет 50 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 8 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 6 работ. Получено положительное решение о выдаче патента на изобретение.

Наиболее значимые научные работы соискателя по теме диссертации:

1. Ефимушкин, А.С. Основные технологические приемы при производстве сталей типа Super Duplex 25Cr и особенности технологии их изготовления в условиях ООО «ЗМЗ» / А.С. Ефимушкин, И.В. Чуманов, А.Н. Аникеев, В.В. Седухин // *Металлург.* – 2022. – № 4. – С. 31–36 (авторская доля 3 с. из 6 с.);

2. Чуманов, И.В. Анализ вариативности состава дуплексных сталей по содержанию азота и углерода / И.В. Чуманов, Н.А. Шабурова, В.В. Седухин // *Электрометаллургия.* – 2022. – № 10. – С. 29–37 (авторская доля 2 с. из 9 с.);

3. Чуманов, И.В. Анализ методик прогнозирования предельной концентрации азота в дуплексных сталях / И.В. Чуманов, В.В. Седухин //

Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2022. – Т. 78. – № 7. – С. 598–604 (авторская доля 4 с. из 7 с.);

4. Седухин, В.В. Уточнение выражения для расчета предельной растворимости азота в дуплексных сталях / В.В. Седухин, И.В. Чуманов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Металлургия. – 2022. – Т. 22. – № 4. – С. 14–20 (авторская доля 4 с. из 7 с.);

5. Чуманов, И.В. Влияние легирования ванадием на фазовый состав супердуплексной стали / И.В. Чуманов, В.В. Седухин // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2022. – Т. 78. – № 11. – С. 952–958 (авторская доля 5 с. из 7 с.);

6. Рущиц, С.В. Моделирование горячей деформации литой супердуплексной коррозионно-стойкой стали / С.В. Рущиц, Н.А. Шабурова, В.В. Седухин, А.М. Ахмедьянов, С.П. Самойлов, А.Н. Аникеев, И.В. Чуманов // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2022. – Т. 78. – № 11. – С. 967–977 (авторская доля 2 с. из 11 с.).

На диссертацию и автореферат поступило 13 отзывов (все – положительные), содержащие следующие замечания и вопросы:

1. От профессора кафедры металлургии и химических технологий ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», доктора технических наук, профессора Бигеева Вахита Абдрашитовича. Вопросы и замечания: 1) Почему для термодинамического моделирования данного вида стали выбран программный пакет FactSage? Не было бы более подходящим использовать программный пакет ThermoCalc?; 2) Недостаточная информативность автореферата в главе об опытной апробации: отсутствие данных об условиях производства стали марки UNS S32750 в ООО «Златоустовский металлургический завод»: характеристика агрегатов выплавки и горячей деформации, описание и параметры технологических процессов.

2. От профессора кафедры технологии материалов и транспорта ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», доктора технических наук, доцента Агеевой Екатерины Владимировны. Вопросы и замечания: 1) Из текста

автореферата не ясно, какова экономическая эффективность разработанных технологических рекомендаций по совершенствованию химического состава дуплексной стали UNS S32750; 2) Из текста автореферата не ясно, каковы перспективы дальнейшей разработки темы.

3. От заведующего кафедрой «Технологии сварочного и металлургического производства им. В.И. Муравьева» ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет», кандидата технических наук, доцента Бахматова Павла Вячеславовича. Существенных и критических замечаний по работе не имеется.

4. От директора по производству, кандидата технических наук Демченко Алексея Игоревича и ведущего технолога порошкового производства Андрейко Александра Игоревича ООО «Гранком». Замечание: к сожалению, в диссертации не описана необходимость применения церия и его влияние, который был введен в расплав при выплавке на производственной площадке ООО «ЗМЗ», а также не приведены данные содержания кислорода в слитках, полученных на данном предприятии.

5. От доцента кафедры «Металлургические технологии и оборудование» ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный университет им. Р.Е. Алексеева», кандидата технических наук, доцента Беляева Сергея Владимировича. Замечания и вопросы в отзыве отсутствуют.

6. От главного научного сотрудника ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет», доктора технических наук, профессора, Заслуженного деятеля науки РФ Евстигнеева Алексея Ивановича. Замечание: приведенная в п. 7 списка публикаций ссылка на заявку не может быть принята и считаться публикацией, поскольку по ней нет положительного решения ФИПС на выдачу патента на изобретение.

7. От доктора технических наук, профессора Набережночелнинского института (филиала) ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет» Сафронова Николая Николаевича. Вопросы и замечания: 1) Недостаточное применение математических методов, характерных для

диссертационных исследований, таких как методы математической обработки результатов испытаний, методов планируемого эксперимента. Например, в п. 2 научной новизны заявлена зависимость, описывающая предельную концентрацию азота в стали UNS S32750, но не представлена математическая форма ее или графическая интерпретация; 2) Пункт 3 научной новизны по формулировке больше соответствует практической значимости.

8. От заместителя технического директора (по реконструкции) ООО «Златоустовский металлургический завод» Сахаутдинова Дмитрия Игоревича. Замечания и вопросы в отзыве отсутствуют.

9. От заведующего кафедрой металлургии и металловедения им. С.П. Угаровой, доктора технических наук, доцента Кожухова Алексея Александровича и профессора кафедры металлургии и металловедения им. С.П. Угаровой, доктора технических наук, профессора, Почетного металлурга Семина Александра Евгеньевича, Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС». Замечания и вопросы: 1) В последние десятилетия большое внимание уделяется вопросам азотирования с помощью газообразного азота. Хотелось бы мнение диссертанта по этому вопросу; 2) Какие выводы были получены по результатам физического моделирования горячей деформации?; 3) Какова экономическая эффективность разработок?

10. От профессора кафедры «Электрометаллургия» ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», доктора технических наук, доцента Корзуна Евгения Леонидовича. Замечания и вопросы: 1) Из текста автореферата не ясно, использовались ли рекомендации автора по температуре ввода раскислителей и температуре начала разливки при выплавке экспериментальных промышленных слитков. При этом соискатель не приводит обоснование переноса технологических приёмов и операций, опробованных на 30 кг индукционной печи, для выплавки экспериментальных слитков в среднетоннажной индукционной 1,2 т индукционной печи. Особенно это касается температур ввода азотированного ферросплава и температуры начала

разливки. То есть пункт 3 научной новизны не раскрывает новизну, поскольку определены лишь порядок и размер подачи раскислителей в лабораторную индукционную печь, что является частным фактом, а не обобщением; 2) При теоретическом анализе структурных составляющих в стали UNS S32750 с помощью программы FACTSage автором определен оптимальный состав стали, в который входят элементы, не нормируемые стандартом, указанным в работе (DIN EN 10088-3-2014 (№2)), – ванадий и медь. При этом на стр. 23 автореферата в табл. 8 приводит нормативные требования к стали без указания ссылки на сам норматив; 3) Из текста автореферата не ясно, как рекомендации по деформации стали UNS S32750 коррелируют с известными литературными сведениями. Изменение температурного интервала горячей обработки давлением стали UNS S32750 (1025-1230 °С) диапазоном 1150-1250 °С было вызвано результатом экспериментов, однако автор рассмотрел только один фактор трещинообразования образцов – температуру, пренебрегая другими, обесценивая это утверждение; 4) В целях работы указано достижение содержания кислорода в стали UNS S32750 в пределах 0,002–0,003 % масс. Однако в результатах анализа экспериментальных промышленных слитков не приводится фактическая концентрация кислорода; 5) Из текста автореферата не ясно, проводились ли автором исследования по сегрегации легирующих в стали UNS S32750, полученной в промышленных условиях, поскольку разливка в слитки диаметром 450 мм предопределяет эти явления.

11. От профессора кафедры «Технология материалов» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», доктора технических наук, профессора Зюбана Николая Александровича. Замечание: в качестве замечания необходимо отметить очень темные, не читаемые фото структур на рис. 11, с. 8, что затрудняет восприятие представленной информации.

12. От заведующего лабораторией специальной электрометаллургии АО «НПО «ЦНИИТМАШ», доктора технических наук Левкова Леонида Яковлевича. Замечания и вопросы: 1) В ходе термодинамического анализа и

экспериментов не исследовано влияние углерода и марганца на предельную концентрацию азота и фазовый состав стали UNS S32750, а также влияния ванадия, рекомендованного в усовершенствованном химическом составе стали (таблица 5, с. 19) оценено не однозначно и не подтверждено сравнительным исследованием структуры и механических свойств; 2) Из текста автореферата не ясны физико-химические основания рекомендации выбора температуры 1480 °С для расчета предельной концентрации азота. Вместе с тем, составы 12-22 (таблица 3, с. 15), отобранные для расчетов из работ различных исследователей, демонстрируют отсутствие азотной пористости лишь за пределами целевого химического состава исследуемой марки стали (0,10-0,22 %), что ставит под сомнение корректность упомянутой рекомендации; 3) Не ясно, как сказалась предложенная оптимизация состава стали на параметре Зинера-Холломона, в то время, как само по себе определение энергии активации процесса динамической рекристаллизации структуры, в определенной мере, выходит за рамки специальности и цели работы; 4) Результаты определения работы удара в поперечных образцах 3 и 4, вырезанных из поковки состава UNS S32750-1 (таблица 8, с. 23) не отвечают предъявляемым требованиям, однако причины этого отклонения, возникающего при ковке в несколько проходов в пределах рекомендованного температурного интервала 1150-1250 °С, не проанализированы.

13. От директора Института металлургии и материаловедения, доктора технических наук, доцента Уманского Александра Александровича и профессора кафедры металлургии черных металлов, доктора технических наук, профессора Протопопова Евгения Валентиновича ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет». Вопросы/замечания: 1) На стр. 17 автореферата приводятся данные, что основным видом неметаллических включений в слитках рассматриваемой автором дуплексной стали являются нитриды алюминия и в качестве подтверждения приводится ссылка на рисунки 9, 10, на которых представлены фотографии микроструктуры при увеличении в 220 и 1400 раз. В тексте автореферата пояснения по поводу выбора именно

такого увеличения отсутствуют. При этом стандартным методом оценки загрязненности неметаллическими включениями согласно ГОСТ 1778-70 является сравнительный анализ микроструктуры при стократном увеличении с эталонными образцами, что позволяет определить тип неметаллических включений и присвоить им определенный балл; 2) Четвертая глава представленной диссертации посвящена моделированию горячей деформации дуплексной стали UNS S32750 для определения ее механических свойств. Непонятно, как соотносятся указанные исследования с целью работы, состоящей в совершенствовании химического состава рассматриваемой стали и, как они соотносятся с научной специальностью, по которой защищается диссертация (исследования пластических свойств металлов и сплавов находятся в рамках специальности 2.6.4 Обработка металлов давлением, а не специальности 2.6.2 Metallургия черных, цветных и редких металлов). По нашему мнению, представленная диссертационная работа и в случае отсутствия данных исследований выглядела бы вполне законченной и соответствовала всем требованиям к кандидатской диссертации.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается соответствием темы диссертационной работы соискателя профилю их научной деятельности и области научных компетенций. Оппоненты и ведущая организация широко известны своими достижениями в данной отрасли науки, имеют публикации по исследованиям, близким к проблеме работы соискателя. Благодаря этому они способны определить научную и практическую ценность диссертации соискателя.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований *разработаны* рекомендации по совершенствованию химического состава и технологии выплавки дуплексной марки стали, легированной азотом, в открытой индукционной печи и дальнейшего ее передела. *Предложено* сузить содержание основных легирующих элементов – Cr, Mo и Ni, а также ввести в состав V, что позволит увеличить предельную концентрацию азота в стали и обеспечит получение бездефектных слитков.

Экспериментально доказана эффективность использования схемы окончательного раскисления без использования алюминия. Установлен наиболее безопасный температурный интервал ковки стали предлагаемого состава. Показано, что передел слитка стали по схеме «ковка+прокатка» позволяют получать металлопродукцию (трубная заготовка) с необходимыми показателями физико-механических свойств.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что 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. Установлена зависимость, описывающая предельную концентрацию азота в стали UNS S32750 и определено значение температуры (1480 °С), которое необходимо применять для выполнения расчетов. При исследовании динамической рекристаллизации определено значение энергии активации процесса для стали UNS S32750 усовершенствованного состава – 501,3 кДж/моль, позволяющее рассчитать параметр Зинера-Холломона для различных температурно-скоростных режимов деформации. Применительно к проблематике исследования результативно использован набор существующих методов термодинамического моделирования, исследования структуры стали и физического моделирования горячей деформации. Определено влияние схемы окончательного раскисления на образование неметаллических включений и содержание кислорода в стали. Изложены основные закономерности структурообразования, происходящего при горячей деформации.

Значение полученных соискателем результатов для практики подтверждается тем, что полученные научно-технические результаты использованы при разработке Временной технологической инструкции «Производство трубной заготовки из стали марки 03X25H7AM4 (UNS S32750, Super Duplex 25Cr)» и освоении производства продукции с требуемыми

показателями физико-механических свойств из стали данной марки на ООО «Златоустовский металлургический завод». *Представлены* рекомендации по корректировке действующей технологии – значение усвоения азота из азотированных ферросплавов в индукционной печи – 80-85 %; температуры выпуска и разливки стали – 1550–1590 °С и 1510–1540 °С, соответственно. *Определено* уравнение для определения предельной концентрации азота в стали, что позволяет в оперативном режиме производить расчеты для получения слитков стали без дефектов в виде газовой пористости.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что экспериментальные исследования выполнены на современном оборудовании с использованием стандартных хорошо зарекомендовавших себя методик исследования, применявшихся в других исследованиях на протяжении многих лет. *Теоретические результаты* согласуются с результатами других исследований, выполненных по схожей тематике, и не противоречат общим концепциям. *Идея* базируется на данных из существующих литературных источников и анализа практики получения аустенитно-ферритных сталей, легированных азотом, в промышленных условиях. *Использовано* сравнение результатов и выводов лабораторных исследований с проведенными ранее работами. *Установлено* соответствие между предложенным автором данными с другими исследованиями, прежде всего в части термодинамического моделирования и исследований горячей деформации. Достоверность результатов исследования *подтверждена* их воспроизводимостью в промышленных условиях.

Личный вклад соискателя состоит в определении актуальности, цели и постановке задач исследования; в организации и проведении работ по термодинамическому моделированию и уточнению расчетного выражения для определения предельной концентрации азота в дуплексных сталях; в проведении экспериментальных работ по выплавке составов дуплексной стали; в обработке, анализе и обобщении результатов исследований; в непосредственном участии в опытно-промышленной апробации; в участии в написании и подготовке

публикаций, представлении результатов работы на конференциях различного уровня.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

1. Не ясен выбор температуры введения азотсодержащих материалов (1480°C), если температура ликвидус в работе определена равной 1430°C.

2. Вызывает вопрос ограничения содержания ванадия 0,25 %, хотя известно, что увеличение концентрации ванадия существенно увеличивает растворимость азота, способствует измельчению структуры и повышению ряда показателей физико-механических свойств?

3. Не приведет ли введение ванадия в сталь рассматриваемого химического состава к образованию нитридных соединений VN, что в свою очередь снизит количество аустенитобразующего азота, растворяющегося в аустените и упрочняющего его?

4. В качестве причины низких показателей ударной вязкости при пониженных температурах в работе указана повышенная загрязненность металла строчечными оксидами. Не может ли причиной этого являться наличие нитридов ванадия вдоль границ зерен?

5. Анализ результатов исследования трещинообразования при скорости 10 с⁻¹ свидетельствует, что образование трещин обнаруживается в интервале до 1150 °C. При этом сталь по показателям физико-механических свойств характеризуется, как достаточно пластичная. Не может ли быть причиной данного явления наличие примесей и неметаллических включений в стали?

Соискатель Седухин Вадим Валерьевич ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию:

1. Температура 1480 °C использовалась для расчета предельной концентрации азота. Для проведения технологических операций, то есть начало рафинирования, введения азотсодержащих материалов принята температура 1560-1580 °C.

2. Ограничение количества ванадия обусловлено тем, что ванадий является достаточно дорогим легирующим элементом, и выбранная концентрация достаточна для повышения предельной концентрации азота в стали, что является главной задачей совершенствования химического состава.

3. В рассматриваемой марке стали азот помимо элемента, способствующего образованию и упрочнению аустенита, также образует нитридные соединения по границам зерен, ограничивая их рост, из-за чего данный класс марок сталей имеет повышенные показатели физико-механических свойств по сравнению с классическими аустенитными марками сталей, и ванадий как раз может способствовать этому процессу.

4. Ряд азотсодержащих марок сталей легируются ванадием, что обеспечивает образование его нитридов в структуре, а это повышает пластичность и упругие свойства при низких температурах за счет дисперсионного упрочнения.

5. Наличие нерастворенных интерметаллидных фаз обуславливает образование трещин при скорости 10 с^{-1} в интервале до $1150 \text{ }^\circ\text{C}$, при нагреве выше указанной температуры происходит их растворение, и последующая деформация не сопровождается трещинообразованием.

На заседании 22.03.2023 г. диссертационный совет принял решение: за разработанные научно-обоснованные рекомендации по совершенствованию химического состава и технологии выплавки дуплексной марки стали, легированной азотом, в открытой индукционной печи, а также установление параметров ее дальнейшего передела, что в итоге обеспечивает конечную металлопродукцию необходимыми показателями физико-механических и коррозионных свойств, присудить Седухину Вадиму Валерьевичу ученую степень кандидата технических наук по специальности 2.6.2 «Металлургия черных, цветных и редких металлов».

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 20 человек, из них 6 докторов наук по научной специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 25 человек, входящих в состав

совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за – 20, против – 0.

Заместитель председателя диссертационного
совета, доктор технических наук, профессор



Г.Г. Михайлов

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат технических наук, доцент

Н.А. Шабурова

Дата оформления: 22.03.2023 г.