

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 31.1.007.01, СОЗДАННОГО
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИТАРНОГО
ПРЕДПРИЯТИЯ «ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ ИМ. И.П. БАРДИНА»,
МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ТОРГОВЛИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 27 марта 2024 года № 1/24

О присуждении Степанову Павлу Петровичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Роль микроструктурных факторов в сопротивлении разрушению сварных соединений стальных труб» по специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов принята к защите 20 декабря 2023 года (протокол заседания № 2/23) диссертационным советом 31.1.007.01, созданным на базе федерального государственного унитарного предприятия «Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии им. И.П. Бардина», Министерство промышленности и торговли Российской Федерации, 105005, г. Москва, ул. Радио, д. 23/9, стр. 2, приказ о создании диссертационного совета № 673/нк от 18 ноября 2020 года.

Соискатель Степанов Павел Петрович, «27» марта 1970 года рождения.

Диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук «Оптимизация структуры и свойств сварного соединения толстостенных газопроводных труб класса прочности X70 для подводных трубопроводов» защитил в 2011 году в диссертационном совете, созданном на базе федерального государственного унитарного предприятия «Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии им. И.П. Бардина», работает

директором по развитию технологий и продуктов в акционерном обществе «Объединённая металлургическая компания».

Диссертация выполнена в Инженерно-технологическом центре акционерного общества «Выксунский металлургический завод» и в Научном центре качественных сталей федерального государственного унитарного предприятия «Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии им. И.П. Бардина», Министерство промышленности и торговли Российской Федерации.

Официальные оппоненты:

Ефименко Любовь Айзиковна, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина», кафедра сварки и мониторинга нефтегазовых сооружений, профессор;

Гаврилов Геннадий Николаевич, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», кафедра «Материаловедение, технологии материалов и термическая обработка металлов», профессор;

Капуткин Дмитрий Ефимович, доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет гражданской авиации», кафедра Физики, профессор

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация - федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск в своем положительном отзыве, подписанном Копцевой Натальей Васильевной, доктором технических наук, профессором, кафедра литейных процессов и

материаловедения, профессор и Сычковым Александром Борисовичем, доктором технических наук, доцентом, кафедра литейных процессов и материаловедения, профессор, утвержденном Тулуповым Олегом Николаевичем, доктором технических наук, профессором, проректором по научной и инновационной работе, указала, что диссертационная работа посвящена актуальной теме, выполнена на высоком научном уровне, имеет большое научное и практическое значение. Работа посвящена решению актуальной научно-технической проблемы, заключающейся в обеспечении повышенного сопротивления хрупкому разрушению при температурах эксплуатации электросварных стальных труб широкого применения разных классов прочности. Поставленные цель и задачи исследования диссертантом успешно решены, что свидетельствуют о высокой научной квалификации автора. Количество задач исследования, положений, выносимых на защиту, общих выводов согласуются друг с другом. Научные положения и выводы, изложенные в работе, аргументированы теоретически и подтверждены экспериментально. Изложенные в диссертации основные научные положения, технические решения и выводы являются результатом самостоятельной работы автора. Доказано влияние структурных параметров свариваемых металлов на их сопротивление разрушению. Диссертационная работа имеет научные новизну и значимость, а также практическую и экономическую ценность, а ее автор, Степанов Павел Петрович, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Соискатель имеет 118 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 43 работы, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 29 работ. Научные публикации посвящены изучению особенностей микроструктуры сварных соединений, выполненным различными видами сварки, установлению связей между микроструктурой и сопротивлением разрушению различных зон сварных соединений, выявлению механизмов разрушения металла сварных соединений, исследованию процессов сварки и изучению возможностей воздействия на структуру и свойства сварных

соединений, применению полученных закономерностей для совершенствования технологий сварки с целью повышения сопротивления разрушению сварных соединений труб. В диссертации отсутствуют достоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах. Общий объем опубликованных статей, в которых отражены основные положения диссертации, составляет 50,2 п.л., а авторский вклад - 24,4 п.л.

Наиболее значимые работы:

1. **Степанов П.П.**, Зикеев В.Н., Эфрон Л.И. Франтов И.И., Морозов Ю.Д. Улучшение свариваемости стали для толстостенных газопроводных труб большого диаметра путем оптимизации химического состава // *Металлург*. 2010. № 11. С. 62–67. (0,75 п.л./0,33 п.л.).

2. Рингинен Д.А., Частухин А.В., Хадеев Г.Е., Эфрон Л.И., **Степанов П.П.** Изучение свариваемости стали класса прочности X100 // *Металлург*. 2013. № 12. С. 68–74. (0,75 п.л./0,22 п.л.).

3. Ткачук М.А., Багмет О.А., **Степанов П.П.** Разработка режимов локальной термической обработки сварного шва труб среднего диаметра, сваренных токами высокой частоты // *Сталь*. 2016. № 3. С. 54–59. (0,76 п.л./0,35 п.л.).

4. Ефимов И.В., **Степанов П.П.**, Сорокин А.Е. Исследование процесса высокочастотной сварки труб с применением скоростной съемки // *Проблемы черной металлургии и материаловедения*. 2020. № 1. С. 12–20. (1,12 п.л./0,56 п.л.).

5. Шабалов И.П., **Степанов П.П.**, Чегуров С.А., Великоднев В.Я., Настич С.Ю., Каленский В.С. Особенности характера разрушения и структуры металла зоны сплавления сварных швов труб магистральных газопроводов при испытаниях на определение величины CTOD // *Вести газовой науки*. 2020. № 2 (44). С. 117–131. (2,0 п.л./0,75 п.л.).

6. Кархин В.А., Жарков С.В., **Степанов П.П.** Влияние формы переменного сварочного тока на эффективность плавления электродной проволоки при многодуговой сварке под флюсом // *Сварка и Диагностика*. 2020. № 3. С. 21–24. (0,5 п.л./0,20 п.л.).

7. Воркачев К.Г., **Степанов П.П.**, Эфрон Л.И., Кантор М.М., Частухин А.В., Жарков С.В. Влияние микроструктуры на вязкость сварного соединения высокопрочных низколегированных сталей при имитации грубозернистой области зоны термического влияния // *Металлург.* 2020. № 9. С. 90–97. (1,0 п.л./0,32 п.л.).

8. Судьин В.В., **Степанов П.П.**, Боженков В.А., Кантор М.М., Эфрон Л.И., Жарков С.В., Частухин А.В., Рингинен Д.А. Микроструктурные особенности низколегированных трубных сталей, определяющие ударную вязкость околошовной зоны сварных соединений // *Металлург.* 2021. № 5. С. 24–35. DOI: 10.52351/00260827_2021_05_24. (1,5 п.л./0,47 п.л.).

9. Эфрон Л.И., **Степанов П.П.**, Воркачев К.Г., Кантор М.М., Боженков В.А., Сметанин К.С. К вопросу о влиянии морфологии бейнита на ударную вязкость низкоуглеродистых сталей // *Сталь.* 2021. № 9. С. 45–50. (0,75 п.л./0,30 п.л.).

10. Судьин В.В., **Степанов П.П.**, Кантор М.М., Эфрон Л.И., Воркачев К.Г., Жарков С.В. Сопоставление влияния микроструктурных факторов на ударную вязкость околошовной зоны сварных труб класса прочности К60 // *Сталь.* 2022. № 1. С. 44–50. DOI: 10.52351/00260827_2021_05_24. (0,88 п.л./0,31 п.л.).

11. Эфрон Л.И., **Степанов П.П.**, Судьин В.В., Багмет О.А., Сметанин К.С., Жарков С.В. Влияние микродобавок титана на структуру и свойства околошовной зоны при сварке трубных сталей // *Проблемы черной металлургии и материаловедения.* 2022. № 1. С. 45–55. DOI: 10.54826/19979258_2022_1_45. (1,37 п.л./0,57 п.л.).

12. Багмет О.А., **Степанов П.П.**, Жарков С.В., Эфрон Л.И., Частухин А.В. Особенности формирования структуры сварного соединения, выполненного автоматической сваркой под флюсом // *Проблемы черной металлургии и материаловедения.* № 2. 2022. С.52–65. DOI: 10.54826/19979258_2022_2_52. (1,75 п.л./0,65 п.л.).

13. Казаков А.А., Мурысев В.А., Рыбальченко И.В., **Степанов П.П.** Неметаллические включения и качество соединений труб, полученных сваркой

токами высокой частоты // Черные металлы. 2022. № 6. С. 60–69. DOI: 10.17580/chm.2022.06.10 (1,25 п.л./0,3 п.л.).

14. Эфрон Л.И., **Степанов П.П.**, Жарков С.В., Частухин А.В. Исследование свариваемости низкоуглеродистых трубных сталей методом имитации термических циклов сварки // Metallurg. 2022. № 8. С. 37–46. DOI: 10.52351/00260827_2022_08_37. (1,25 п.л./0,52 п.л.).

15. Жарков С.В., **Степанов П.П.**, Багмет О.А., Эфрон Л.И. Влияние условий охлаждения на микроструктуру и ударную вязкость сварных соединений, выполненных автоматической многодуговой сваркой под флюсом // Черные металлы. 2022. № 7. С. 35–41. DOI: 10.17580/chm.2022.07.06. (0,88 п.л./0,42 п.л.).

16. Жарков С.В., **Степанов П.П.**, Частухин А.В., Багмет О.А., Эфрон Л.И., Закономерности (исследование) влияния микроструктуры на ударную вязкость сварных соединений труб большого диаметра // Metallurg. 2022. № 9. С. 13–22. DOI: 10.52351/00260827_2022_09_13. (1,25 п.л./0,55 п.л.).

17. **Степанов П.П.** Исследование ударной вязкости трубных сталей после имитации термических циклов сварки и сварных соединений труб большого диаметра // Сталь. 2022. № 10. С. 42–49. (1,0 п.л.).

18. **Степанов П.П.** Формирование структуры и свойств сварных соединений стальных труб, выполненных высокочастотной сваркой // Проблемы черной металлургии и материаловедения. 2022. № 4. С. 3–17. DOI: 10.54826/19979258_2022_4_3. (1,81 п.л.).

19. Ефимов И.В., **Степанов П.П.**, Сорокин А.Е., Багмет О.А., Краснов А.В., Эфрон Л.И. Влияние технологических параметров сварки давлением с оплавлением после нагрева токами высокой частоты на микроструктуру и хладостойкость сварного соединения стальных труб малого и среднего диаметра // Metallurg. 2023. № 2. С. 76–85. DOI: 10.52351/00260827_2023_02_76. (1,25 п.л./0,56 п.л.).

20. Кантор М.М., Воркачев К.Г., **Степанов П.П.**, Жарков С.В., Эфрон Л.И., Боженков В.А. Ударная вязкость и микроструктура сварного шва низколегированной стали, полученного автоматической сваркой под флюсом // Metallurg. 2023. № 6. С. 5–15. DOI: 10.52351/00260827_2023_06_5. (1,37 п.л./0,46 п.л.).

На диссертацию и автореферат поступили отзывы: 16 положительных, из них 14 содержат замечания. Во всех отзывах отмечено, что диссертационная работа актуальна для трубной отрасли и черной металлургии в целом, поскольку посвящена решению вопроса надежной эксплуатации труб, путем обеспечения стабильных характеристик хладостойкости и вязкости сварных соединений. Отмечается, что несмотря на значительное количество опубликованных работ, связи между структурой и свойствами сварных соединений труб большого, среднего и малого диаметра не были окончательно установлены. Работа П.П. Степанова направлена на разработку материаловедческих основ получения сварных соединений с высоким сопротивлением разрушению. В этой связи постановка настоящей работы вполне обоснована.

Отмечается, что для решения поставленной задачи автором проведены систематические исследования, включившие в себя весь доступный набор методов и средств. Структурные исследования в работе проведены на самом высоком уровне, что явилось основой для получения ряда новых результатов. Кроме того, автором создана комплексная методика исследований и разработок технологий сварки, включающая в себя стадии от математического моделирования и имитации процессов до лабораторного и промышленного опробования. Указывается, что исследования выполнены для широкого марочного и размерного сортамента труб и видов сварки, что позволило охватить проблему в целом. Все это обеспечило высокий уровень полученных результатов, характеризующихся научной новизной. Среди результатов, имеющих несомненную научную новизну, отмечают: установленные микроструктурные механизмы, определяющие вязкость различных зон сварных соединений; выявленные и ранжированные факторы, влияющие на сопротивление разрушению; установленное влияние кристаллографической текстуры и кластеров на охрупчивание сварных соединений; сопоставление влияния матрицы микроструктуры и дополнительных механизмов.

Основные научные положения, выводы и рекомендации работы представляются обоснованными и не подлежащими сомнению. Отмечается высокий уровень обобщения материала.

В отзывах отмечается высокая практическая значимость диссертационной работы П.П. Степанова. Автором разработаны приемы управления структурой и свойствами сварных соединений. Полученные результаты и установленные закономерности подтверждены практически в условиях массового производства труб ответственного назначения. Отмечается, что на основании полученных результатов автором разработан и внедрен ряд новых видов трубной продукции с уникальными характеристиками и сложного марочного и размерного сортамента. Также отмечен полученный в работе значительный экономический эффект.

Основные положения и результаты работы достаточно полно освещены в публикациях и обсуждены на профильных конференциях. Автореферат хорошо оформлен, написан грамотным техническим языком.

Во всех отзывах отмечается, что диссертационная работа соответствует паспорту специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов и критериям, предъявляемым ВАК, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук.

Замечания, приведенные в отзывах:

1. **Пышминцев Игорь Юрьевич**, доктор технических наук, генеральный директор ООО «Исследовательский центр ТМК»:

а) на странице 7 отмечено, что практическим результатом работы является разработка технологии и освоение производства труб с уникальными характеристиками, сложного марочного и размерного сортамента: категории прочности до К80. В то же время известно, что надежность труб класса прочности К80 не была подтверждена при натурных пневматических полигонных испытаниях, что остается вызовом для следующих исследований, поэтому на наш взгляд, это положение полностью корректно в отношении труб класса прочности до К70 включительно;

б) использованный на той же странице термин «народно-хозяйственная проблема» в современных условиях неприменим.

2. Настич Сергей Юрьевич, доктор технических наук, главный научный сотрудник ООО «Газпром-ВНИИГАЗ»:

а) представляется, что исследования по тематике труб, изготавливаемых дуговой сваркой под флюсом (ДСФ) и труб, получаемых сваркой ТВЧ, не следовало представлять в главах вместе, поскольку, хотя и имеются общие факторы влияния (рост зерна, кластеры с ориентировкой {001}, неметаллические включения и карбиды), но формирование структуры и свойств в процессе этих двух сварочных технологий существенно различается из-за состояния металла и типа воздействия;

б) не показано в явном виде влияние химического состава низколегированной стали на характер фазовых превращений при скоростях охлаждения, соответствующих ЗТВ сварного соединения труб, изготавливаемых ДСФ. Полезно было бы схематично представить термокинетические диаграммы (ТКД) для сталей с разными сочетаниями добавок Cr, Ni, Cu, Mo, как во внедренных сталях;

в) полезно было бы рассмотреть влияние состава и структуры стали не только на низкотемпературную вязкость и хладостойкость, но также на трещиностойкость (вязкость разрушения) сварных соединений, поскольку в современных проектах (трубы для зон АТР магистрального газопровода «Сила Сибири», подводные трубопроводы) есть такие требования.

3. Горицкий Виталий Михайлович, доктор технических наук, заместитель директора по научной работе АО «ЦНИИПСК им. Н.П. Мельникова»:

а) следует отметить, что рис.14б не соответствует подписи к рисунку. Речь, видимо, идет об изменении температуры хрупкости или критической температуры хрупкости;

б) к числу недостатков в работе диссертанта отнести предположение о существенной роли крупных включений, в том числе, нитрида титана, «действующих как места зарождения хрупких трещин в относительно

крупнозернистой матрице» (стр. 26, 27). Представленный на рис. 16 нитрид TiN, как инициатор хрупкой трещины, не информативен: не виден ручьистый узор, характерный для разрушения по механизму транскристаллитного скола.

4. **Куницын Глеб Александрович**, доктор технических наук, директор по инновациям АО «Уральская сталь»:

а) не отражено влияние на механизм разрушения металла в зоне сварного шва наиболее часто встречающихся в трубных марках стали комплексных алюмокальциевых неметаллических включений;

б) не представлены данные о критическом размере и форме неметаллических включений, либо допустимом уровне загрязненности неметаллическими включениями для различных методов сварки.

5. **Ермаков Борис Сергеевич**, доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией ФГАОУ ВО «СПбПУ»:

в качестве замечания следует подчеркнуть, что в автореферате написано «Разработаны и внедрены новые составы сталей различных классов прочности (06ХГ2Б, 06Г2НБ, 06ХГ2НДБ, 06Г2МНДБ, 05ХГ2НМДБ), однако в перечне публикаций автора отсутствуют патенты или другая нормативно-техническая документации на эти марки стали, что не позволяет установить роль автора в этих разработках.

6. **Коберник Николай Владимирович**, доктор технических наук, директор научно-учебного центра «Сварка и диагностика» МГТУ им. Н.Э. Баумана:

а) из текста автореферата не ясно, каким образом при разработке методологии исследований и получении рекомендаций для обеспечения требуемых эксплуатационных свойств продольного шва трубы учитывается влияние теплового воздействия, которое будет иметь место в процессе выполнения монтажного кольцевого соединения при строительстве трубопровода;

б) при сварке ТВЧ предусматривается осадка металла с формированием грата. Таким образом, часть нагретого металла удаляется. Остается неясным, каким образом модель сварки учитывает этот факт, а также, не ясно, до какой

максимальной температуры был нагрет металл, который оказывается у линии сплавления.

7. **Ильин Алексей Витальевич**, доктор технических наук, заместитель директора по научной работе НИЦ «Курчатовский институт - ЦНИИКМ «Прометей»:

в автореферате отсутствует информация по уровню ударной вязкости, которая для металла сварного соединения считается приемлемой по соответствующей технической документации - т.е. не указана целевая задача совершенствования технологии. Также отсутствует и информация по фрактографии изломов KCV, испытанных при различной температуре, которая позволяла бы оценить, какой максимальный уровень KCV уже соответствует возникновению хрупких разрушений? Должны ли они полностью быть исключены при минимальной температуре эксплуатации, и является ли именно это задачей совершенствования технологии?

8. **Чеглов Александр Егорович**, доктор технических наук, профессор кафедры «Физическое металловедение» ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»: без замечаний.

9. **Курганова Юлия Анатольевна**, доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение» МГТУ им. Н.Э. Баумана:

весьма ценным является вывод 4, в котором обозначено, что «Ряд методических подходов предложен впервые», остается вопрос возможности транслирования предложенных методических подходов, возможности воспроизведения обозначенных подходов и границы их применяемости.

10. **Григорович Константин Всеволодович**, доктор технических наук, академик РАН, заведующий лабораторией ИМЕТ РАН:

а) в автореферате указано на вредное влияние линзовидных неметаллических включений, образовавшихся вдоль линии сплавления при сварке токами высокой частоты, но не обсуждается их состав и возможные механизмы образования, что затрудняет формулирование технологических решений для борьбы с данным явлением;

б) все представленные в автореферате трубные стали раскисляют алюминием, что приводит к образованию включений и кластеров оксидов алюминия, образование которых весьма вероятно и в зоне сварки. Аллюминаты достаточно часто являются инициаторами хрупкого разрушения. Однако в автореферате данный вопрос автором не был рассмотрен.

11. **Денисов Сергей Владимирович**, доктор технических наук, профессор, главный специалист Научно-технического центра ПАО «ММК»:

а) недостаточно углубленные исследования вида и происхождения неметаллических включений, отрицательно влияющих на вязкость различных областей сварного соединения;

б) не исследовано влияние разработанных технологических решений, направленных на повышение вязкости и хладостойкости, на уровень остаточных внутренних напряжений в областях сварного соединения с разным структурным состоянием.

12. **Кудря Александр Викторович**, доктор технических наук, профессор кафедры металловедения и физики прочности НИТУ МИСИС:

а) встречаются неудачные выражения, например (с. 25): «Дополнительным охрупчивающим фактором являются отдельные участки межзеренного разрушения на границах раздела между игольчатым ферритом и зернограничным ферритом. «Участки межзеренного разрушения» - скорее признак охрупчивания, а к факторам охрупчивания можно отнести структурные причины его вызвавшие;

б) на рис. 14а желательно было бы оценить значимость полученной зависимости «ударная вязкость – скорость охлаждения, также неясно, что означают точки – средние значения, или одиночные значения ударной вязкости;

в) из текста автореферата неясно, каким образом оценивалась хладостойкость сварных соединений.

13. **Смирнов Леонид Андреевич**, доктор технических наук, профессор, академик РАН, научный руководитель АО «Уральский институт металлов»:

а) автор в автореферате указал, что разработаны и внедрены новые составы сталей различных классов прочности (06ХГ2Б, 06Г2НДБ и т.д., в том числе для

труб большого диаметра), однако непонятно, как эти материалы соотносятся с темой работы, т.е. повышением вязкости сварных соединений;

б) в результате проведенных исследований автор разработал новые способы повышения сопротивления разрушению сварных соединений, но из автореферата не ясно, были ли автором выдвинуты дополнительные требования к металлургическому качеству трубной стали;

в) недостаточно внимания уделено влиянию микролегирующих элементов, в частности, ванадия, на сопротивление разрушению сварных соединений труб, с учетом известного их влияния на микроструктуру и свойства металлопроката.

14. Маркова Галина Викторовна, доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»:

а) в качестве одного из основных эксплуатационных свойств автор справедливо использует хладостойкость. Однако количественные характеристики хладостойкости, в частности, температуры хрупковязкого перехода не приведены;

б) автор неудачно использует термин «ранжирование» механизмов охрупчивания, что подразумевает расположение причин по степени влияния. Однако в работе не приведена оценка масштаба негативного влияния того или иного микроструктурного фактора, в просто приведен перечень причин;

в) на приведенных в автореферате рисунках не показаны погрешности измеряемых величин (рис.4, 7, 10, 14).

15. Орлов Виктор Валерьевич, доктор технических наук, генеральный директор НПО «ЦНИИТМАШ», **Козлов Павел Александрович**, кандидат технических наук, заместитель генерального директора НПО «ЦНИИТМАШ»: без замечаний.

16. Сизова Ольга Владимировна, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Института физики прочности и материаловедения Сибирское отделение РАН:

а) в цели работы не указаны материалы или группа материалов, предназначенных для исследования;

б) объем автореферата превышает требования ВАК РФ.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается:

- **Ефименко Любовь Айзиковна** - ведущий специалист в области металловедения сварки, фазовых превращений в сталях в процессе термических циклов сварки, структуры и свойств различных зон сварных соединений;

- **Гаврилов Геннадий Николаевич** - ведущий специалист в области фазовых и структурных превращений в сталях при различных воздействиях;

- **Капуткин Дмитрий Ефимович** - ведущий специалист в области металловедения сталей, механики разрушения сталей для сварных труб большого диаметра;

- **федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»** - специализируется в области теории и технологии производства сталей с заданным комплексом механических свойств, управления качеством, научных и технологических основ получения изделий из перспективных сталей, известно своими работами в области конструкционных сталей, в том числе и для электросварных труб, также на его базе действует диссертационный совет 24.2.324.03 по специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана научная концепция управления структурой и свойствами сварных соединений стальных труб с целью повышения их сопротивления разрушению; создана и реализована система разработки и совершенствования технологий сварки, включающая в себя этапы математического моделирования процессов, имитации их на образцах с использованием современного лабораторного оборудования, опробования технологической концепции в лабораторных условиях, промышленного опробования, оценки результатов и ее применение для совершенствования структуры и свойств сварных соединений,

предложен подход к ранжированию микроструктурных факторов по степени охрупчивающего влияния на сварное соединение. Установлены наиболее опасные инициаторы хрупкого разрушения:

- по центру дугового сварного шва: наличие фракции крупных зерен зернограничного феррита (особенно, видманштеттового), вытянутых вдоль или параллельных плоскости разрушения границ столбчатых зерен бывшего аустенита осевой ориентации и их совпадение с неметаллическими включениями;

- в зоне термического влияния дугового шва: частицы TiN ; $(Ti,Nb)(C,N)$ размером не менее 2 мкм, контактирующие со всех сторон с матрицей и находящиеся в крупном бейнитном пакете (>150 мкм), ориентация плоскостей скола которого близка к поверхности разрушения;

- в сварном соединении ТВЧ: сварочные оксиды в виде пленок или скоплений большого размера (~ 102 мкм); несколько крупных фасеток, в которых плоскости скола $\{001\}$ неблагоприятно ориентированы по отношению к плоскости магистральной трещины; линзовидные неметаллические включения в области линии сплавления,

доказано наличие связей между параметрами микроструктуры и сопротивлением разрушению сварных соединений труб, в том числе:

- повышение ударной вязкости металла крупнозернистого участка зоны термического влияния низкоуглеродистых микролегированных сталей при повышении скорости охлаждения определяется повышением плотности высокоугловых границ (ВУГ), которая обусловлена исчезновением зернограничного феррита и замещением гранулярного бейнита (ГБ) речным бейнитом (РБ). Показано, что в структуре ГБ мало ВУГ и они имеют незавершенную форму, в РБ дополнительный вклад в плотность ВУГ вносят границы между бейнитными пакетами. Показано, что этот механизм является определяющим. Дополнительно вклад в повышение плотности ВУГ вносит увеличение плотности границ зерен аустенита при повышении скорости охлаждения из-за уменьшения времени нахождения выше точки A_{c3} ;

- выявлены более сильные факторы, чем микроструктура матрицы, определяющие хладостойкость сварных соединений, в том числе неметаллические включения (в том, числе, наследуемые из проката, преобразующиеся и формирующиеся в процессе сварки) и кристаллографическая текстура;

- роль кристаллографической текстуры: показано, что группы смежных зерен феррита (кристаллографические кластеры), у которых плоскости {001} близки к поверхности разрушения ($\pm 20^\circ$), способствуют образованию транскристаллитного скола. Охрупчивание определяется размером и долей таких кристаллографических кластеров. При дуговой сварке наибольшее негативное влияние на хладостойкость оказывали крупные кластеры {001} размером до 160 мкм, расположенные по центру сварного шва на участках зернограничного феррита. В сварном соединении ТВЧ снижение ударной вязкости и хладостойкости связано с увеличенной в 2–3 раза долей кластеров {001} по линии сплавления в сравнении с основным металлом, при этом размер наиболее крупной фракции кластеров примерно в 5 раз превышает размер наиболее крупных зерен α -фазы,

введена общая картина микроструктурных механизмов, определяющих вязкость сварных соединений и основного металла исследованных сталей. Установлено, что характер температурной зависимости ударной вязкости (плавное снижение или рассеяние вплоть до нулевых значений) зависит от влияния микроструктуры матрицы, либо воздействия сильных дополнительных охрупчивающих факторов, в том числе неметаллических включений и областей структурной неоднородности с пониженной плотностью высокоугловых границ, критичным случаем является их совпадение. Охрупчивающее влияние неметаллических включений проявляется при величине зерна матрицы, превышающем критический размер (50-80 мкм), а также зависит от размера, формы, ориентировки включения и характера его связи с матрицей.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:
доказано экспериментально существование связей между характеристиками микроструктуры различных зон сварных соединений и их сопротивлением

разрушению, в том числе выявлены критические параметры микроструктуры (механизмы), существенно охрупчивающие сварное соединение. Показано, что они отличаются для различных зон и видов сварки, установлены механизмы их формирования,

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использованы предложенная в работе система исследований и разработок, метод дифракции обратно рассеянных электронов, фрактографии, имитация термических циклов сварки, **изложены** новые результаты в части особенностей микроструктуры и кристаллографической текстуры сварных соединений, выполненных различными видами сварки, представления о механизмах их формирования, представления о механизме явлений, ранее казавшихся противоречивыми, включая влияние морфологии и дисперсности бейнита на вязкость, влияния частиц карбонитридных фаз, о формировании отдельных видов неметаллических включений, о критическом размере зерна α -фазы (максимальная фракция), при котором наблюдается охрупчивающее влияние неметаллических включений. Изложены перспективные направления исследований и разработок в области сварки труб,

раскрыты микроструктурные механизмы, определяющие сопротивление разрушению сварных соединений различного типа. Выявленная общая картина микроструктурных механизмов, определяющих вязкость сварных соединений в сопоставлении с основным металлом исследованных сталей для исследованных видов сварки позволила предложить пути совершенствования структуры и свойств сварных соединений, открывают перспективы новых разработок в этом направлении,

изучены ранее неизвестные особенности микроструктуры сварных соединений включая границы различных типов, кристаллографическую текстуру, что позволило провести анализ связей между структурой и свойствами и развить металловедческие основы формирования сварных соединений стальных труб с высокой вязкостью и хладостойкостью,

проведена модернизация системы исследований и разработок, базирующейся на схеме «моделирование – имитация процессов – лабораторное воспроизведение – промышленное опробование - оценка результатов», путем наполнения ее на всех выше указанных стадиях соответствующими моделями и методиками применительно к процессам сварки и металлу сварных соединений, что и позволило эффективно применять данную сквозную схему.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработаны и внедрены новые составы сталей различных классов прочности, технологические приемы, по снижению тепловложения при дуговой сварке под флюсом; оптимизированы состав и структура сварного шва, внедрены усовершенствованные технологии высокочастотной сварки для гарантии удаления оксидов в грат, новые схемы термической обработки труб малого и среднего диаметра. Разработки опробованы и внедрены в трубоэлектросварочных цехах АО «ВМЗ», АО «Трубодеталь», АО «Газпром трубинвест», Альметьевском заводе ОМК, АО «ИТЗ». Общий объем продукции, произведенной с использованием результатов диссертационной работы, составил 609 тысяч тонн, фактический экономический эффект составил 12,39 млрд. рублей,

определены направления использования полученных в работе результатов на практике, ряд эффектов, позволяющих улучшать свойства сварных соединений труб, технологические приемы управления структурой и свойствами сварных соединений,

создана современная система исследований и разработок применительно к технологиям сварки и трубным сталям, которая является научно обоснованной базой для создания новых и совершенствования существующих технологий и материалов,

представлены результаты освоения производства труб с уникальными характеристиками, сложного марочного и размерного сортамента: категории прочности до К80; с температурой эксплуатации -42...-60°C; с толщиной стенки до 41 мм и др., в том числе, труб для уникальных проектов трубопроводов:

«Турецкий поток», «Северный поток - 2», освоения производства нефтегазопроводных труб для эксплуатации во всех климатических регионах РФ, стойких к CO_2 и H_2S ; обсадных труб группы прочности Дс в хладостойком исполнении, хладостойких (-20°C) труб диаметром до 530 мм класса прочности до К60 для ПАО «Газпром», ПАО «Новатэк» и ПАО «Транснефть».

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ применялись современные методы исследования микроструктуры и механических свойств стали, исследования проводились на современном сертифицированном оборудовании,

теория исследования базируется на основных положениях современного металловедения. Основным научным подходом в работе является установление связей между структурой и свойствами сварного соединения, механизмов разрушения и выявление путей и технологических воздействий, позволяющих улучшить структуру и сопротивление разрушению сварных соединений,

идея базируются на анализе и обобщении собственных экспериментальных данных, опубликованных данных в области структуры и свойств низколегированных трубных сталей и их сварных соединений и согласуются с основными положениями металловедения, а также подтверждаются результатами успешной реализации технологических решений в промышленных условиях,

использованы методы статистической обработки результатов и современное лицензионное программное обеспечение, большой объем экспериментальных работ, сопоставление полученных результатов с опубликованными данными,

установлено совпадение результатов исследования, полученных в работе с известными из литературы, результатов лабораторных и промышленных экспериментов и испытаний, показана воспроизводимость и непротиворечивость результатов,

использованы методология и методы исследования, применяемые в металловедении, в частности, комплекс современных методов исследования микроструктуры металла с использованием количественной световой, сканирующей (включая ДОРЭ) и просвечивающей электронной микроскопии,

локального энергодисперсионного анализа химического состава, дилатометрии, исследования поверхностей разрушения образцов, рентгеноструктурного анализа, а также механических свойств металла, в том числе с записью динамических кривых разрушения.

Личный вклад соискателя состоит в том, что научные положения и результаты диссертационной работы основываются на исследованиях, выполненных под руководством или с непосредственным участием автора. Соискателю принадлежат: постановка и определение общей структуры работы, выбор направлений и формулирование задач исследований, определение методов решения научно-технических и технологических проблем. Вклад соискателя состоит в анализе и интерпретации результатов, формулировке научных основ разработки и совершенствования технологий, основных положений и выводов. Опробование и внедрение в производство разработанных технологий и новых видов трубной продукции осуществлялось при участии соискателя. В работах, выполненных в соавторстве, личный вклад соискателя состоит в выработке направлений и методов решения проблем, организации проведения экспериментов, участии в получении экспериментальных данных, анализе и обобщении полученных результатов, подготовке основных публикаций.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания: о необходимости учета влияния сероводородного растрескивания, о механизме охрупчивающего влияния феррита и включений карбонитридных фаз, о необходимости учета сварочных напряжений.

Соискатель Степанов П.П. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию: о влиянии углеродного эквивалента на свариваемость стали, о перспективных направлениях развития технологии сварки труб большого диаметра, о путях управления структурой сварных соединений, о микроструктурных механизмах, определяющих разрушение сварных соединений, о формировании окислов при нагреве свариваемых кромок металла токами высокой частоты, о методических особенностях выявления различных морфологических типов бейнита. Соискатель ответил на высказанные замечания.

На заседании 27 марта 2024 года диссертационный совет принял решение за решение научной проблемы, имеющей важное хозяйственное значение, установления структурных механизмов повышения сопротивления разрушению сварных соединений труб для обеспечения надежности эксплуатации магистральных трубопроводов, а также месторождений, скважин и прочего оборудования нефтегазовой отрасли промышленности присудить Степанову П.П. ученую степень доктора технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 14 докторов наук по научной специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 22 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за - 15, против - 0, недействительных бюллетеней - 0.

Председатель

диссертационного совета

Родионова Ирина Гавриловна

Ученый секретарь

диссертационного совета

Холодный Алексей Андреевич

27 марта 2024 года

Подпись руки Родионовой И.Г. и Холодного А.А. заверяю:
Ученый секретарь ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина»
Москвина Татьяна Павловна

