

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научной
и инновационной работе

ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»

доктор технических наук, профессор

Тулупов Олег Николаевич



« 08 »

О.Н. Тулупов
февраля

2024 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» на диссертационную работу Степанова Павла Петровича «Роль микроструктурных факторов в сопротивлении разрушению сварных соединений стальных труб», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

1. Актуальность темы исследования и степень ее разработанности

Диссертационная работа П.П. Степанова посвящена решению актуальной научно-технической проблемы, заключающейся в обеспечении повышенного сопротивления хрупкому разрушению при температурах эксплуатации электросварных стальных труб широкого применения разных классов прочности. При этом свойства сварного соединения (СС) обеспечить существенно труднее, чем основного металла (ОМ), в связи со сложностью происходящих в металле процессов и ограниченными возможностями воздействия на технологические параметры. Сварка связана с нагревом металла в широком интервале температур (в том числе выше температуры плавления) и последующим охлаждением с различными скоростями, также в ряде случаев не только с термическим, но и деформационным воздействием на металл. В результате сварное соединение состоит из ряда зон с различной микроструктурой. Структурные и фазовые превращения в сварном соединении являются весьма сложными для формирования соотношения «структура-свойства» вследствие того, что в процессах сварки совмещаются как металлургические процессы, связанные с расплавлением стали до жидкого состояния с последующей кристаллизацией расплава, так и процессы структурообразования и термической обработки СС. В настоящее время высокие требования по вязкости и хладостойкости предъявляются не только к трубам большого диаметра, но и к трубам малого и среднего диаметра, сваренными высокочастотной сваркой (сварка ТВЧ). Исходя из этого весьма актуальными следует считать работы, связанные с управлением структурой и свойствами сварных соединений стальных труб различного

сортамента и назначения, направленные на повышение их вязкости (и приближение вязкости СС к вязкости основного металла) путем совершенствования состава стали, структуры сварных соединений, поиска эффективных технологических параметров сварки и последующей термической обработки (ТО).

Как отмечает диссертант, состояние вопроса на момент постановки работы характеризовалось сложностью установления связей между структурой и свойствами сварных соединений, отсутствием четкого и однозначного понимания всего комплекса структурных факторов, определяющих вязкость сварных соединений для различных видов сварки.

В специальной технической литературе опубликовано значительное количество работ по имитации-физическом моделировании дуговой сварки под флюсом (ДСФ), но эти данные не получили обобщения, не установлены четкие связи между структурой и свойствами экспериментального металла и реальных сварных соединений. Работ по высокочастотной сварке опубликовано недостаточно, не сформулированы общие представления о микроструктурных механизмах, определяющих хладостойкость сварных соединений, требуются систематические исследования. Научно-обоснованная система получения новых технологий сварки и совершенствования существующих была недостаточно разработана. Не были сформулированы основные направления улучшения микроструктуры и свойств сварных соединений труб, выполненных различными видами сварки.

Цель работы: повышение вязкости и хладостойкости сварных соединений за счет целенаправленного управления их структурой и свойствами на основе установленных закономерностей для разработки новых сталей, создания и совершенствования технологий и освоение на этой основе массового производства труб малого, среднего и большого диаметра с уникальным сочетанием свойств.

2. Степень новизны научных положений, которые выносятся на защиту диссертации

Вынесенные на защиту основные научные положения диссертационной работы обладают несомненной новизной, в том числе:

- установленные новые особенности и закономерности формирования микроструктуры и кристаллографической текстуры сварных соединений при высокочастотной сварке, дуговой сварке под флюсом, альтернативных видах сварки и термической обработке;
- выявленная общая картина микроструктурных механизмов, определяющих вязкость сварных соединений в сопоставлении с основным металлом исследованных сталей для исследованных видов сварки;
- выстроенные иерархии микроструктурных механизмов охрупчивания для сварных соединений и основного металла труб;
- предложенные, на основании анализа всего комплекса полученных результатов, подходы к управлению структурой сварных соединений, совершенствованию технологии сварки, улучшению свойств различных зон сварных соединений.

Следует отметить, что теоретическая значимость работы заключается в развитии научного направления и разработке металлургических основ получения сварных соединений стальных труб с высокой вязкостью и хладостойкостью.

3. Практическая и экономическая значимость результатов и основных научных положений диссертации

В практическом плане диссертантом разработаны и внедрены новые составы низко- и микролегированных сталей трубного назначения различных классов прочности (06ХГ2Б, 06Г2НДБ, 06ХГ2НДБ, 06Г2МНДБ, 05ХГ2НМДБ, 06Г1Б, 05ХГБ), мероприятия по снижению тепловложения при сварке; получены эффективные состав и структура шва при ДСФ, внедрены усовершенствованные технологии высокочастотной сварки для гарантии полного удаления оксидов в грат, новые схемы термической обработки.

Разработана технология и освоено производство труб с уникальными характеристиками, сложного марочного и размерного сортамента: категории прочности до К80 с температурой эксплуатации минус 42-60°С с толщиной стенки до 41 мм. В том числе, освоено производство труб для уникальных Российских проектов магистральных трубопроводов: «Турецкий поток», «Северный поток-2» и др.

Освоено производство нефтегазопроводных труб диаметром 114–530 мм, сваренных ТВЧ, для эксплуатации во всех климатических регионах РФ, стойких к агрессивным коррозионно-активным средам CO₂ и H₂S; обсадных труб группы прочности Дс в хладостойком исполнении, хладостойких (-20 °С) труб ТВЧ диаметром до 530 мм класса прочности до К60 для ПАО «Газпром», ПАО «Новатэк» и ПАО «Транснефть».

Разработки опробованы и внедрены в ТЭСЦ-1, ТЭСЦ-3, ТЭСЦ-4, ТЭСЦ-5 АО «ВМЗ», АО «Трубодеталь», АО «Газпром трубинвест», Альметьевском заводе ОМК, АО «ИТЗ».

Общий объем трубной продукции, произведенной с использованием разработок автора, составил 609 тысяч тонн, фактический экономический эффект составил 12,39 млрд. рублей.

4. Обоснованность и достоверность основных результатов диссертации

Приведенные в диссертации результаты отличаются конкретностью, основаны на большом объеме теоретических и экспериментальных исследований, не противоречат положениям металлургии и термической обработки металлов и сплавов. Результаты работы достаточно полно и хорошо апробированы при обсуждении на семинарах, МНТК (диссертант докладывал результаты исследований по теме на 18 МНТК с 2008 по 2023 гг., то есть на протяжении 15 лет).

Достоверность результатов обеспечена использованием апробированных методик исследования, внедрением их в производство.

В работе использованы современные методология и методы исследования, применяемые в металлургии, в частности, комплекс современных методов исследования микроструктуры металла с использованием количественной световой, сканирующей (СЭМ или РЭМ), включая приставку к РЭМ – детектор дифракции отраженных рассеянных электронов – 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. Кроме того, применяли эффективную имитационную установку Gleeble 3800.

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.

5. Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из стандартных глав-разделов, включающих оглавление, введение, 6 глав, общих выводов, списка литературных источников из 403 наименований и приложений, содержит 416 страниц машинописного текста, 247 рисунков, 33 таблицы.

Во введении обоснована актуальность проблемы, описано состояние вопроса, сформулированы цель и задачи исследования, описана общая схема проведения работы и методический подход, а также научная новизна и научная и практическая значимость работы.

В первой главе с позиции металловедения анализируются технологии сварки, применяемые при производстве труб, выявляются их особенности. Далее рассматривается создание и применение системы исследований и разработок для обеспечения и совершенствования технологий и материалов.

Во второй главе описаны результаты исследования микроструктуры сварных соединений, выполненных различными видами сварки.

Получен ряд важных новых результатов, характеризующих микроструктуру сварного соединения.

Глава 3 посвящена исследованию связей между микроструктурой, вязкостью и хладостойкостью, а также особенностей разрушения сварных соединений.

Глава 4 посвящена исследованию характера разрушения сварного шва и основного металла трубных сталей, микроструктурных факторов, определяющих рассеяние ударной вязкости, и обобщению полученных результатов.

На основе полученных результатов и установленных закономерностей впервые ранжированы микроструктурные механизмы, определяющие уровень вязких свойств сварных соединений для двух видов сварки, что позволило выстроить системный подход к оптимизации их структуры и свойств.

В главе 6 на основе анализа и обобщения комплекса полученных результатов сформулированы подходы и технологические пути совершенствования структуры и вязкостных свойств сварных соединений, разработаны и опробованы технологические приемы, составы сталей, режимы термической обработки, технологии сварки и способы ее мониторинга.

Глава 6 посвящена применению полученных результатов и установленных закономерностей в промышленных условиях для совершенствования технологий производства труб, повышения уровня свойств трубной продукции, освоения новых видов продукции.

6. Общие результаты исследований диссертации

1. Проведены систематические исследования структуры основного металла и сварных соединений стальных труб диам. 60–1420 мм, произведенных с использованием различных видов сварки, установлены основные связи между их структурой и свойствами, определены и ранжированы микроструктурные механизмы, определяющие сопротивление разрушению основного металла и сварных соединений при исследованных видах сварки. С применением разработанной системы исследований и разработок установлены пути совершенствования структуры и свойств сварных соединений, предложены, опробованы и внедрены новые и усовершенствованные технологии и стали, освоено массовое производство новых видов трубной продукции с уникальным сочетанием эксплуатационных свойств.

2. Получен ряд новых результатов в части микроструктуры сварных соединений, особенностей ее формирования, влияния на характер разрушения и вязкость сварных соединений, в том числе:

- увеличение скорости охлаждения грубозернистой области ЗТВ при сварке сопровождается повышением в микроструктуре плотности высокоугловых границ, что обусловлено замещением гранулярного бейнита реечным и увеличением вклада границ зерен бывшего аустенита;

- в случае однородной исходной структуры аустенита формирование реечного бейнита приводит к повышению ударной вязкости и хладостойкости; при наличии крупных зерен аустенита, формирующийся в них реечный бейнит имеет меньшую плотность высокоугловых границ, чем в окружающих областях гранулярного бейнита, что приводит к снижению вязкости и хладостойкости стали;

- влияние параметров термического цикла сварки и соответствующего изменения микроструктуры на ударную вязкость ЗТВ сталей, может быть ограничено в случае воздействия более сильных охрупчивающих факторов, например, неметаллических включений, действующих как места зарождения хрупких трещин;

- показано, что оксидные включения в сварном шве при ДСФ служат как местами внутризеренного зарождения ИФ, обеспечивая благоприятную структуру матрицы с высокой плотностью ВУГ, так и местами возможного зарождения хрупких трещин путем раскалывания более крупных НВ, что особенно опасно при наличии крупных зерен ЗГФ и ВФ;

- показано, что группы смежных зерен феррита (кристаллографические кластеры), у которых плоскости $\{001\}$ близки к потенциальной поверхности разрушения ($\pm 20^\circ$), способствуют образованию транскристаллитного скола. 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;

- при дуговой сварке наибольшее негативное влияние на хладостойкость оказывают крупные кластеры $\{001\}$ размером до 160 мкм, расположенные по центру сварного шва на участках зернограничного феррита.

3. Получил развитие метод имитации термических циклов сварки в ЗТВ в части методического подхода и трактовки результатов. Показано, что наряду с точным воспроизведением термического цикла сварки, метод с использованием испытательного комплекса Gleeble, позволяет разделить влияние отдельных параметров термического цикла на микроструктуру и установить ряд важных закономерностей, в том числе изучать влияние размера зерна аустенита, стабилизировать его, либо зафиксировать перед $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращением. Экспериментально подтверждено соответствие структуры имитированного металла в части матрицы, доли и морфологии МА-составляющей и размера зерна аустенита, что подтвердило правомерность применения данной методики.

Метод имитации усовершенствован и применен к ТВЧ сварке, что позволило имитировать термическое, термомеханическое воздействие и формирование шва.

4. Создана и реализована на практике современная научно-обоснованная система разработки и освоения новых технологий и материалов, включающая в себя стадии математического моделирования процессов; имитации теплового и/или деформационного воздействия на металл с использованием современного оборудования; лабораторного воспроизведения технологической концепции, процесса или его элементов; опытно-промышленные испытания (промышленное опробование); оценку результатов с помощью современных методов исследований и испытаний.

Ряд методических подходов предложен впервые. Преимущества системы заключаются в достижении оптимальной с точки зрения заданных свойств, микроструктуры металла и получения к моменту промышленного опробования основных элементов и критических параметров технологии.

5. Впервые на основании систематических исследований ранжированы микроструктурные механизмы, определяющие уровень вязкостных свойств сварных соединений для исследованных типов сварки, что позволило выстроить системный подход к оптимизации их структуры и свойств.

В том числе установлены наиболее опасные инициаторы хрупкого разрушения:

- по центру дугового сварного шва: наличие фракции крупных зерен зернограничного феррита размером 80–140 мкм, вытянутых вдоль параллельных надрезу границ столбчатых зерен бывшего аустенита осевой ориентации и их совпадение с неметаллическими включениями;

- в ЗТВ дугового шва – частица $TiN (Ti,Nb)(C,N)$ большого размера, контактирующая со всех сторон с матрицей и находящаяся в крупном бейнитном пакете (>150 мкм), ориентация плоскостей скола которого близка к поверхности разрушения;

- в шве ТВЧ: сварочные оксиды в виде пленок или скоплений большого размера ($\sim 10^2$ мкм); несколько крупных фасеток, в которых плоскости скола $\{001\}$ неблагоприятно ориентированы по отношению к плоскости магистральной трещины; линзовидные (деформированные в цикле сварки) НВ, попавшие в область линии сплавления из основного металла.

В прокате (основном металле трубы) аналогично сварному соединению основными причинами снижения хладостойкости являются дополнительные инициаторы хрупкого разрушения, в первую очередь, области с малой плотностью ВУГ (например, грубые участки бейнитной структуры) и неметаллические включения.

Уменьшение ударной вязкости обусловлено: совпадением крупного включения (скопления НВ) и крупной фасетки (группы), крупной фасеткой (группой близко ориентированных фасеток).

Имеющиеся в основном металле мелкие эндогенные НВ на фоне мелкозернистой структуры, как инициаторы хрупких трещин себя не проявляют.

6. Впервые выявлена 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 матрицы микроструктуры, либо действия сильных дополнительных охрупчивающих факторов, в том числе – неметаллических включений и областей структурной неоднородности с пониженной плотностью ВУГ, критичным случаем является их совпадение. Охрупчивающее влияние НВ проявляется при величине зерна матрицы превышающем критический размер (50–80 мкм), а также зависит от размера, формы, ориентировки НВ и характера его связи с матрицей.

7. Анализ и обобщение всего комплекса полученных результатов позволили сформулировать концепцию управления микроструктурой сварного соединения на основании выявленных связей между структурой и свойствами и ранжирования охрупчивающих механизмов. Основными элементами ее являются:

- совершенствование химического состава стали с позиции свариваемости (для дуговой сварки под флюсом – повышение устойчивости аустенита в ЗТВ; для сварки ТВЧ – исключение формирования тугоплавких оксидов);

- целенаправленное изменение сварочных материалов (структура сварного шва ДСФ) и технологических параметров сварки (для ДСФ – снижение тепловложения, для ТВЧ – устранение сварочных окислов);

- термическая обработка (ослабление кристаллографической текстуры при нормализации и последующее повышение дисперсности структуры путем закалки с высоким отпуском для сварного соединения ТВЧ и устранение эффекта структурной наследственности металла для шва ДСФ);

- чистота стали (уменьшение загрязненности стали НВ).

В части высокочастотной сварки предложен и опробован ряд технологических решений, направленных на: полное удаление сварочных оксидов из линии сплавления, уменьшение количества линзовидных включений вблизи ЛС путем повышения чистоты металла по НВ, ослабление неблагоприятной кристаллографической текстуры, исключение формирования мартенсита по ликвационным участкам, измельчение эффективного зерна. В части автоматической дуговой сварки под флюсом разработаны и опробованы технологические решения, направленные на улучшение литой структуры шва и измельчение размера зерна аустенита, формирование матрицы микроструктуры

шва (ЗГФ, ВФ, ИФ), типа структуры матрицы крупнозернистой ЗТВ (ЗГФ, ВФ, ГБ, РБ), МА-составляющей, размера и морфологии частиц на основе (Ti,Nb)(N,C).

Оптимизация состава стали и технологии обеспечивают хладостойкость труб ТВЧ из низкоуглеродистых микролегированных сталей до минус 40–60°C. При этом отличие ударной вязкости от ОМ не превышает 20–30%. Целенаправленный выбор сварочных материалов при оптимальной технологии ДСФ позволил освоить производство труб с прочностью до 790 Н/мм² и хладостойкостью до минус 50–60 °С.

8. В области дуговой сварки под флюсом разработаны и внедрены новые составы сталей различных классов прочности, оптимизированы состав и структура шва (изменение морфологии игольчатого феррита от блочной до собственно игольчатой (реечной) с одновременным повышением дисперсности ИФ), мероприятия по снижению тепловложения при сварке (повышению скорости охлаждения).

В части труб малого и среднего диаметра с использованием сварки ТВЧ разработаны новые составы сталей, в том числе сталь марки 05ХГБ с оптимизированным содержанием Mn, Si, Cr для формирования низкотемпературных оксидных фаз; составы сталей для хладостойких труб класса прочности К56–К60; реализован комплекс мероприятий по повышению чистоты стали по НВ на ЛПК. Внедрены усовершенствованные технологии высокочастотной сварки для гарантии удаления жидкого металла и окислов в грат; новые схемы термической обработки.

7. Значимость полученных автором диссертации результатов для развития соответствующей отрасли науки

Содержание диссертационной работы представляет собой решение важной научно-технической и хозяйственной проблемы повышения сопротивления разрушению сварных соединений труб для обеспечения надежности эксплуатации магистральных трубопроводов, а также месторождений, скважин и прочего оборудования нефтегазовых отраслей промышленности. Установленные в работе особенности формирования структуры сварных соединений труб, выполненных различными видами сварки, и взаимосвязи между их структурой и свойствами, ранее недостаточно изученные, позволили предложить пути совершенствования вышеуказанных структуры и свойств сварных соединений, открывают перспективы новых разработок в этом направлении. Созданная система исследований и разработок является научно-обоснованной базой для создания новых и совершенствования существующих технологий и материалов.

8. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Установленные в работе закономерности формирования структуры, микроструктурные механизмы, определяющие сопротивление разрушению сварных соединений, предложенные подходы, включая созданную систему исследований и разработок, рекомендуется использовать при разработке и совершенствовании технологий сварки и термомеханической обработки сталей для электросварных труб.

Полученные в диссертации результаты и выводы могут быть широко использованы на металлургических и трубных предприятиях, включая заводы

ПАО «ТМК», ПАО «Северсталь», АО «Уральская сталь», ПАО «ММК» и др. с целью повышения конкурентоспособности выпускаемой трубной продукции, а также при сооружении трубопроводов разного назначения.

Результаты работы могут использоваться при подготовке инженеров в ВУЗах.

9. Полнота опубликования основных положений и результатов диссертации

Основное содержание диссертационной работы отражено в 43 публикациях, из них 29 статей в рецензируемых изданиях из перечня ВАК РФ, в том числе, в журналах, входящих в базу данных RSCI (категории K1) – 23; входящих в международную базу данных Scopus – 13, а также в трех патентах РФ на изобретения.

10. Соответствие темы диссертации паспорту научной специальности и отрасли науки, по которым она представляется к защите

Работа соответствует формуле и направлениям исследований 2, 4, 5 паспорта научной специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

11. Автореферат в достаточной степени отражает содержание диссертационной работы.

12. Личный вклад автора

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

13. Замечания по диссертации

1. Средняя скорость охлаждения металла в интервале температур фазовых превращений 800–500°C в ЗТВ «внутреннего» и «наружного» шва для стандартной технологии сварки составляет 8,5 и 6,5 °C/с, соответственно, при нормальных конвективных условиях охлаждения. А что такое «нормальные конвективные условия охлаждения», чему равен коэффициент конвективной теплоотдачи в указанных интервалах температур для конкретного химического состава свариваемых сталей?

2. Выбор материала и методика проведения исследований недостаточно развернуто описаны во введении, а не в виде самостоятельной главы диссертации, что, очевидно, явилось причиной повторов при описании результатов исследования в различных разделах диссертации и увеличения и без того

большого объема текста работы. В частности, это касается идентификации М/А участков, морфологии бейнита, кластеров с ориентировкой {001}, характера поверхности разрушения (например, стр. 80-82, стр. 123, стр.179, стр. 205 и др.).

3. В п. 4 общих выводов автор указывает, что «создана современная научно-обоснованная система разработки и освоения новых технологий и материалов...». Однако перечисленные автором такие стадии как математическое и имитационное моделирование (в том числе с использованием исследовательского комплекса Gleeble 3800), лабораторные эксперименты и опытно-промышленные испытания, оценка результатов хорошо известны и широко используются в проведении научно-исследовательских работ (о чем, кстати, сам автор делает ряд ссылок в тексте). Следовало бы отметить, какие именно «методические подходы предложены впервые» (как отмечает автор), и какие преимущества они обеспечили.

4. В пункте «Теоретическая и практическая значимость работы» отмечается, что разработаны и внедрены новые составы сталей различных классов прочности (06ХГ2Б, 06Г2НДБ, 06ХГ2НДБ, 06Г2МНДБ, 05ХГ2НМДБ, 06Г1Б, 05ХГБ), однако патентные разработки автора по этим сталям отсутствуют, а в приведенных актах по внедрению представлены только данные, касающиеся производства труб только из одной из указанных автором марок стали – 05ХГБ.

5. Имитация термических циклов сварки и построение термокинетической диаграммы осуществлено на стали марки 05ХГ2НФМДБ класса прочности Х100 (рис. 1.19 и 1.20), сопоставление имитированной структуры с реальной – на стали марки 07ХГ2Б класса прочности К52 (стр. 44 и рис. 1.21, в подписи к которому не указана марка стали), а исследование влияние скорости охлаждения на ударную вязкость – на стали SAWL450FD (стр. 47-48, рис. 23). Целесообразно было бы проводить цикл исследований по формированию структуры и свойств на одной марке стали, чтобы обеспечить корректность сопоставлений и объяснение выявленных закономерностей.

6. При описании результатов исследования термической обработки сварных соединений не объяснен выбор температурных режимов; указана только температура A_{c3} , но не указана температура A_{c1} ; не корректно назван отпуском нагрев закаленных образцов до температур 800 °С и выше; не приведены исходные структуры после сварки (а они в разных сталях различаются); не проанализированы структуры после закалки; не указаны температуры отпуска в подписи к фотографиям микроструктуры таких образцов (например, рис. 2.61, 2.66-2.69, рис. 2.72-2.73, рис. 2.84) и, соответственно, не корректно описаны превращения, происходящие при таком нагреве. В частности, не рассмотрено, что происходит с бейнитной составляющей при нагреве закаленных образцов.

14. Общая оценка диссертации. Проведенный анализ диссертации и автореферата П.П. Степанова позволяет сделать следующее заключение.

1. Диссертационная работа посвящена актуальной теме, выполнена на высоком научном уровне, имеет большое научное и практическое значение. Диссертационная работа П.П. Степанова 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.

2. 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 П.П. Степанова имеет научные новизну и значимость, а также практическую и экономическую ценность.

3. Несмотря на указанные замечания, представленная диссертационная работа полностью соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении учёных степеней» от 24 сентября 2013 г. № 842, 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.

Диссертация рассмотрена и обсуждена, а отзыв ведущей организации утверждён на заседании кафедры литейных процессов и материаловедения (протокол № 6 от 8.02.2024) ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Профессор кафедры литейных процессов и материаловедения, доктор технических наук по специальности 2.6.1 (05.16.01) –
Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов, профессор

Наталия Васильевна Копцева

Профессор кафедры литейных процессов и материаловедения, доктор технических наук по специальностям 2.6.1 (05.16.01) –
Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов и 2.6.2 (05.16.02),
Металлургия черных, цветных и редких металлов, доцент

Александр Борисович Сычков

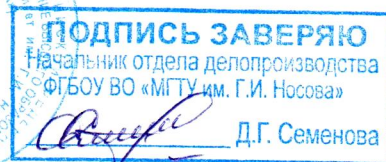
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

Почтовый адрес: 455000, Челябинская обл., г. Магнитогорск, пр. Ленина, д. 38

Телефон: +7 (3519) 29-84-09; + 7 909 095 18 61; + 7 919 348 66 84; e-mail:

korseva1948mail.ru; absychkov@mail.ru; E-mail: mgtu@mgtu.ru

08.02.2024г.



Я, Кощева Наталья Васильевна, согласна на автоматизированную обработку персональных данных, приведенных в этом документе Наша

Я, Сычков Александр Борисович, согласен на автоматизированную обработку персональных данных, приведенных в этом документе Бер