



## ОТЗЫВ

**на автореферат диссертации Степанова Павла Петровича «Роль микроструктурных факторов в сопротивлении разрушению сварных соединений стальных труб», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.1. «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»**

Тема выполненного комплекса исследований является, несомненно, актуальной, поскольку посвящена анализу причин снижения вязкости сварных соединений труб различного назначения, которые в настоящее время, как правило, уступают основному металлу труб, что требует глубокого понимания причин для разработки эффективных методов воздействия при реализации технологий производства. Отличительной особенностью проведенной работы является выполнение исследований для широкого по размерам и классам прочности, а также технологиям сварки продольных швов сортамента труб. При этом внимание сконцентрировано на основных видах сварки, используемых в настоящее время для массового производства труб – дуговой сварки под флюсом и сварки с применением токов высокой частоты. Автор четко сформулировал отличия этих видов сварки с точки зрения особенностей, влияющих на закономерности образования микроструктуры сварного соединения, и выявил ключевые особенности строения сварных соединений. Следует отметить, что достоверность полученных результатов и правильность сделанных выводов основаны на большом объеме исследований, выполненных с применением различных экспериментальных методов. Для формирования микроструктуры и имитации ее трансформаций в цикле сварки использованы как различные лабораторные установки, так и натурные образцы. Важной особенностью работы стало развитие методологии имитационного моделирования сварки, позволившая обеспечить хорошую сходимость результатов на лабораторных образцах и отобранных от труб, сваренных в производственных условиях. Отличительной особенностью работы стало широкое применение методов исследования микроструктуры и характера разрушения, основанных на методах сканирующей электронной микроскопии с использованием дифракции обратно рассеянных электронов с определением разориентировок и выявлением областей с «опасной» кристаллографической ориентацией в плоскости разрушения, определяющих разрушение сколом. Это также открыло возможность интерпретировать связи особенностей микроструктуры в различных зонах сварного соединения с их вязкостью с учетом плотности высокоугловых границ. При этом важное значение имеет и размер зерна.

При выполнении работы получены важные научные результаты, которые, несомненно, являются новыми. К ним можно отнести результаты комплексного анализа влияния различных факторов на вязкость сварных соединений с выявлением сложных связей между отдельными факторами. Это позволило дать ряд объяснений явлениям, известным ранее, но не получившим надежных объяснений.

Например, интересным, новым и обоснованным является объяснение повышения вязкости на участке крупного зерна в зоне термического влияния при формировании речного бейнита как причины роста плотности высокоугловых границ. Объяснены причины соотношения лучшей



ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР ТМК

ул. Большой бульвар, д. 5, Территория инновационного  
центра Сколково, г. Москва, Россия, 121205  
Тел.: +7 (495) 775 76 00  
E-mail: tmk@tmk-group.ru  
www.tmk-group.ru

хладостойкости гранулярного бейнита в основном металле и реечного бейнита в крупнозернистой части зоны термического влияния. Установлено критическое влияние кластеров с неблагоприятной ориентировкой как в соединениях, полученных дуговой сваркой под флюсом, так и сваренных с применением нагрева токами высокой частоты. Установлена роль неметаллических включений, их природы, размера, свойств в разрушении в зависимости от характеристик окружающей металлической матрицы. В совокупности это позволило автору выстроить иерархию микроструктурных факторов и механизмов, ответственных за охрупчивание сварных соединений труб.

Полученные важные научные результаты подтверждены практикой в условиях массового производства труб ответственного назначения. Освоены уникальные продукты, осуществлены поставки на важнейшие стройки в Российской Федерации – газопроводы Турецкий поток и Северный поток-2, Сила Сибири, объекты Новатэка, Транснефти и других. Результаты внедрены в практику производства ТЭСЦ-1, ТЭСЦ-3, ТЭСЦ-4, ТЭСЦ-5 Выксунского металлургического завода, заводов Трубодеталь, Газпром трубинвест, Альметьевского, Ижорского трубных заводов. В результате использования результатов работы произведено более 600 тыс. тонн труб и получен масштабный экономический эффект. Таким образом, в работе решены задачи, имеющие важное хозяйственное значение и изложены новые научно обоснованные технические, технологические решения, внедрение которых внесло значительный вклад в развитие страны.

К работе имеются замечания. 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 натуральных 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. Использованный на той же странице термин «народно-хозяйственная проблема» в современных условиях неприменим. Указанные замечания не снижают высокой ценности работы в целом, она полностью отвечает требованиям п.9 Положения о присуждении ученых степеней к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук. Соответственно, автор Павел Петрович Степанов заслуживает присвоения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.1. «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Я, Пышминцев Игорь Юрьевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

**Генеральный директор,  
Доктор технических наук  
Специальность 05.16.01 «Металловедение  
и термическая обработка металлов и сплавов»**



**Пышминцев Игорь Юрьевич  
31.01.2024**

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Степанова Павла Петровича  
**«Роль микроструктурных факторов в сопротивлении разрушению сварных соединений стальных труб»**, представленный на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

Среди важнейших требований, предъявляемых к металлу труб современных трубопроводных систем, является повышенная сопротивляемость металла хрупкому разрушению. Однако, если для основного металла труб эта проблема в целом решена благодаря успехам в выплавке и термомеханической обработке низколегированных сталей, то для металла сварного соединения данный вопрос длительное время не имел комплексного решения. Это связано с тем, что сварное соединение имеет весьма неоднородную структуру, формирующуюся в условиях термического (дуговая сварка под флюсом – ДСФ) или термодеформационного воздействия (сварка при помощи токов высокой частоты – ТВЧ). Поэтому работа Степанова П.П., имеющая целью улучшение свойств сварных соединений труб, изготавливаемых по разным технологиям (ДСФ, ТВЧ), на основе управления процессами структурообразования для обеспечения надежности эксплуатации магистральных трубопроводов, является, несомненно, актуальной. Рассматриваемая работа является решением важной научно-технической и народно-хозяйственной проблемы.

Для достижения поставленной цели решены сложные научно-практические задачи: создана научно-обоснованная концепция разработки и совершенствования технологий сварки, выявлены функциональные связи между структурой и вязкостью, хладостойкостью сварных соединений, определены ключевые факторы влияния и механизмы воздействий, проранжированы микроструктурные механизмы, ответственные за охрупчивание, определены направления технологических воздействий для оптимизации структурного состояния и свойств сварных соединений.

В результате работы в промышленных условиях АО «ВМЗ» освоено производство стальных труб различного сортамента, изготавливаемых по технологии ДСФ и ТВЧ, с принципиально улучшенными свойствами сварных соединений для ключевых проектов нефтегазовой отрасли (магистральные газопроводы «Сила Сибири», «Турецкий поток», «Северный поток-2», трубы для проектов ПАО «Новатэк» и ПАО «Транснефть»).

Важным достижением работы в научно-методическом плане является создание системы разработки и освоения новых технологий и материалов при сварке труб, включающей математическое моделирование процессов, физическое моделирование воздействий на металл, лабораторное воспроизведение технологической схемы, промышленное опробование, оценку полученных результатов (структуры, свойств).

Изучение взаимосвязей состава стали и технологических параметров (скорость охлаждения, температура нагрева и т.п.) с особенностями структуры сварных соединений труб выполнено с использованием средств физического моделирования процессов, что позволило изучить влияние параметров термического цикла сварки по отдельности.

Структурные исследования сварных соединений выполнены на самом высоком современном уровне с применением световой (оптической), сканирующей электронной (СЭМ) и просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ). Благодаря использованию при СЭМ метода дифракции обратно рассеянных электронов (ДОРЭ)) получены новые значимые данные о влиянии высокоугловых границ (ВУГ) и кристаллографических кластеров с плоскостями  $\{001\}$  на свойства металла.

Полученные в работе основные научные положения, выводы и рекомендации представляются научно обоснованными и не подлежащими сомнению, поскольку они базируются на фундаментальных положениях материаловедения сталей и получены в результате исследований, выполненных с применением современных методов исследования.

Диссертационная работа Степанова П.П. имеет несомненную научную новизну, состоящую, по нашему мнению, в следующем:

- установлен микроструктурный механизм повышения ударной вязкости в ЗТВ на основе повышения плотности ВУГ при эволюции структуры бейнита, и выявлены условия превалирующего влияния ВУГ и размера исходного зерна аустенита,

- определены условия влияния на вязкость металла более сильных факторов, чем микроструктура матрицы – неметаллические включения и кристаллографическая текстура,

- выявлено влияние кристаллографических кластеров в структуре, как групп смежных зерен феррита с плоскостями  $\{001\}$ , которые близки к поверхности разрушения, на вязкость,

- проранжированы микроструктурные факторы по степени охрупчивающего влияния на металл для разных участков соединений труб, изготавливаемых ДСФ и сваркой ТВЧ,

- выявлена степень влияния на характер вязкости сварных соединений из низколегированных трубных сталей микроструктуры матрицы, либо сильных дополнительных охрупчивающих факторов, а также критические значения этих факторов.

Теоретическая значимость работы состоит в развитии научного направления и разработке металлургических основ получения сварных соединений стальных труб с высокой вязкостью и хладостойкостью.

Практическая значимость работы заключается в разработке и опробовании технологических воздействий и новых составов сталей для управления структурой и свойствами сварных соединений, выборе вектора для дальнейшего развития технологии.

Автореферат написан грамотным техническим языком, хорошо оформлен. Основные положения исследований подкреплены графическим и табличным материалом. По теме работе подготовлено большое количество публикаций – всего 43, из них 29 в рецензируемых изданиях из перечня ВАК РФ. Работа прошла апробацию на конференциях.

По автореферату Степанова П.П. имеются нижеследующие замечания.

- 1) 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.

- 2) 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.

- 3) 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.

Указанные замечания не снижают значимости диссертационной работы, поскольку не затрагивают ее основных положений.

На основании изложенного считаю, что диссертационная работа «Роль микроструктурных факторов в сопротивлении разрушению сварных соединений стальных труб» является законченной научно-исследовательской работой, представляет собой решение важной научно-технической и народно-хозяйственной проблемы и удовлетворяет требованиям п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней (Постановление Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №842), а ее автор – Степанов Павел Петрович, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Я, Настич Сергей Юрьевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

доктор технических наук,  
главный научный сотрудник лаборатории исследований материалов  
Корпоративного научно-технического центра развития  
трубной продукции ООО «Газпром ВНИИГАЗ»



С.Ю. Настич

16.02.2024 г.

Настич Сергей Юрьевич, доктор технических наук, специальность 05.16.01 (2.6.1.) –  
Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Адрес: 195112, г. Санкт-Петербург, вн. тер. г. муниципальный округ Малая Охта, пр-кт  
Малоохтинский, д. 45, литера А, помещ. 2-Н, офис 812. Телефон: +7 (498) 657-42-06.  
e-mail: S\_Nastich@vniigaz.gazprom.ru; раб. тел.: (498) 657-40-84, 657-40-85, доб. 31-81.

Подпись С.Ю. Настича заверяю:  
заместитель начальника отдела  
кадров и трудовых отношений



Е.П. Вологина

## ОТЗЫВ

на автореферат «Роль микроструктурных факторов в сопротивлении разрушению сварных соединений стальных труб» Степанова Павла Петровича, представленный на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

Повышение прочности, вязкости и хладостойкости сварных соединений нефтегазовых трубопроводов актуальная задача металлургической отрасли народного хозяйства России. С этой точки зрения исследования структурных факторов, управляющих комплексом механических свойств, - актуальная задача. По этой причине диссертационная работа Степанова П.П. несомненно актуальна и своевременна.

Выбор в качестве основного предмета исследования сварных соединений, выполненных дуговой сваркой под флюсом и сваркой ТВЧ, как самые массовые виды сварки, заслуживают поддержки. Изучены сварные соединения и основной металл труб малого, среднего и большого диаметра от 60 до 1420 мм. При этом исследовали, как различные зоны металла шва, ЗТВ, так и основного металла на сталях широкого применения для производства электросварных труб типа 05ГБ, 05ХГБ, 06ХФБ, 06ХГ2Б, 05ХГ2НМДБ и другие.

В главе 1 обстоятельно анализируются технологии сварки, применяемые при производстве труб. Установлены основные отличия сварки ТВЧ от ДСФ. Показано, что термомеханическое воздействие на металл в процессе сварки ТВЧ, в отличие от только термического воздействия при дуговой сварке под флюсом, обуславливает существенное различие в характере и типе формирующихся микроструктур.

В работе диссертации получил развитие метод имитации термических циклов сварки в зоне термического влияния, в части методического подхода и трактовки полученных результатов. К числу достижений следует отнести экспериментальное подтверждение соответствия структуры имитированного металла в части матрицы, доли и морфологии МА-составляющей и размера зерна аустенита.

В главе 2 представлены результаты исследований микроструктуры сварных соединений, выполненных различными видами сварки. На базе исследования по формированию микроструктуры низкоуглеродистых трубных сталей класса прочности до К90 установлено, что высокопрочные стали до К80 не склонны к образованию мартенсита в структуре ЗТВ при автоматической многодуговой сварке под флюсом, так как критическая скорость охлаждения  $W_{8/5} > 20$  °C/с существенно выше фактической. Соответственно твердость ЗТВ, зависящая от доли мартенсита и содержания в металле углерода, не приводит к образованию холодных трещин при  $HV \leq 350$  для сталей с содержанием не более 0,07% С и доли мартенсита не

более 25%, что ограничивает максимальную скорость охлаждения  $W_{8/5} > 40$  °C/с. Это заключение имеет научное и несомненно практическое значение не только для трубостроительства.

Глава 3 содержит результаты исследований по связи характеристик структуры с вязкостью и хладостойкостью сталей, включая также анализ особенностей разрушения сварных соединений. Большой интерес вызывают выводы диссертанта по причинам изменения ударной вязкости и хладостойкости для ЗТВ и металла сварного шва. Можно согласиться с тем, что «основным механизмом (назвать лучше фактором) повышения вязкости для КЗ ЗТВ является увеличение плотности высокоугловых границ в результате формирования РБ и повышение вклада от границ зерен бывшего аустенита (при повышении скорости охлаждения)». Следует отметить, что рис.14,б не соответствует подписи к рисунку. Речь, видимо, идет об изменении температуры хрупкости или критической температуры хрупкости.

Соглашаюсь с абзацем на стр.26, где сказано, что повышение доли и размера МА – составляющей сопровождается снижением ударной вязкости, при этом механизм? (причина) влияния этих частиц на разрушение металла в исследованной области размеров (0,9-2,3 мкм) и объемной доли (0,3-3 %) МА – составляющей не установлен. Дальше диссертант продолжает «предположение о способности частиц МА провоцировать скол в исследованных сталях не подтверждено». Действительно эта проблема требует отдельного исследования. Согласно данным работы [Проблемы прочности. 1980, №10], вероятность появления микротрещины транскристаллитного скола у вершины макротрещины зависит от действующего микромеханизма разрушения в смежных зернах феррита (сталь 10ХСНД, закалка + высокий отпуск), возрастая в следующей последовательности: ямочный (зарождения, рост и коалесценция пор, межсубзеренный и транскристаллитный скол). Судя по приведенным данным ни в одном случае не выявлен факт зарождения микротрещин транскристаллитного скола у границ ямок, т.е. у зоны пластической деформации. В этом случае наиболее вероятно зарождение у МА – составляющей больших ямок.

К числу недостатков в работе диссертанта следует 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 ручьеистый узор, характерный для разрушения по механизму транскристаллитного скола. Далее в работе справедливо отмечается, что «переход трещины из включения в матрицу не является достаточным условием для возникновения макроскопического хрупкого разрушения...».

Влияние неметаллических включений на вязкость и хладостойкость стали удобно рассматривать с использованием структурного критерия вязкохрупкого перехода для ОЦК-металлов. В сокращенной записи

критическая температура хрупкости  $T_k$  имеет вид  $T_k = T_k^0 - \frac{B \cdot \Lambda_B^{1/2}}{\Lambda_X}$  где  $T_k^0$  – вклад в  $T_k$  со стороны структурных факторов (зёрен перлита, дисперсной фазы, зерна и субзерна и др.) в предел текучести ферритной матрицы,  $B$  – коэффициент учитывающий условия испытания,  $\Lambda_B$  – размер элементарной вязкой трещины (ямки),  $\Lambda_X$  – размер элементарной хрупкой трещины транскристаллитного скола [Применение характеристик ударной вязкости в инженерной практике, М, Metallurgizdat. 2016. 304 с.]. Поскольку размер НВ различного типа и морфологии часто имеют размеры  $>0,04$  мкм, начиная с которых частицы твёрдого тела участвуют в зарождении вязких трещин – ямок, то их роль велика в определении хладостойкости сталей, имеющих ОЦК-решетку. Часто на дне крупных ямок в сталях с титаном видны фрагменты крупных карбонитридов Ti(C, N).

Ударная вязкость в стали состоит из работы зарождения  $a_z$  и работы распространения вязкой трещины  $a_p$ . Поскольку  $a_p = \eta \cdot S_k \cdot \Lambda_B$ , где  $S_k$  – истинное разрушающее напряжение;  $\eta$  – коэффициент пропорциональности, учитывающий условия испытания, то получаем  $T_k = T_k^0 - \frac{B \sqrt{a_p}}{\sqrt{\eta \cdot S_k} \cdot \Lambda_X}$  или в первом приближении  $T_k \sim - \frac{\sqrt{a_p}}{d}$ , где  $\Lambda_X$  – равна размеру зерна феррита  $d$ . В этом случае открывается перспектива учесть вклад как ферритной матрицы (ГВ, РБ, ЗГФ, ИФ, ВФ и др.), так и неметаллических включений различной морфологии.

Глава 4 посвящена изучению характера разрушения сварного шва и основного металла в зависимости от микроструктурных факторов. Представлен квалифицированный перечень структур, определяющих уровень ударной вязкости сварных соединений ДСФ и ТВЧ исследуемых сталей. Сделан вывод, что сопротивление хрупкому разрушению определяется не средним размером зерна феррита, а его распределением по размерам – фракцией наиболее крупных зерен.

В главе 5 на основе анализа и обобщения полученных результатов сформулированы технологические пути оптимизации структуры и соответственно вязкостных свойств сварных соединений, разработаны и опробованы технологические приемы, составы сталей, режимы термической обработки, технологии сварки. При опробовании альтернативных видов сварки установлено, что электроннолучевая сварка в сравнении с ДСФ имеет более высокую скорость охлаждения, приводя к формированию более мелкозернистого аустенита в ЗТВ и большей доли реечного бейнита в сталях К52 и К60. Микроструктура шва – реечный бейнит, тогда как в ДСФ – игольчатый феррит. Соответственно, повышается  $KCV^{20}$  и она становится стабильной по центру шва. При гибридной лазерно-дуговой сварке размер зерна аустенита в шве и ЗТВ существенно меньше, чем при ДСФ и электроннолучевой сварке. В работе получены новые практические результаты, позволившие улучшить свойства и качество электросварных труб, перечень которых не позволяет их указать в отзыве в полной мере.



В главе 6 представлены сведения по применению полученных результатов исследований с целью совершенствования технологии производства труб. Разработаны и внедрены новые составы стали 06ХГ2Б, 06Г2НДБ, 06Г2МНДБ, 05ХГ2НМДБ, 06Г1Б, 05ХГБ класса прочности К52-К70 для труб ТБД повышенной хладостойкости. Разработана технология и освоено производство труб большого диаметра категории прочности до К70 с минимальной температурой эксплуатации  $-42...-60$  °С с толщиной стенки до 41 мм для уникальных проектов трубопроводов «Турецкий поток», «Северный поток» и другие. Примеров применения труб с уникальными характеристиками множество. Общий объем трубной продукции произведенной с разработкой автора, составил 109 тыс. т, а фактический эффект составил 12,39 млрд. руб.

Отмечая огромные достижения автора следует упомянуть о широком круге методов и методик использованных при научных исследованиях, в том числе дифракцию обратно рассеянных электронов, просвечивающую электронную микроскопию, дилатометрию, электронную фрактографию.

Научная новизна диссертационной работы уникальна, как с точки зрения поднятых вопросов, так и глубине полученных обобщений и закономерностей влияния характеристик структуры на ударную вязкость и хладостойкость сварных соединений ДСФ и ТВЧ и некоторых других видов сварки. Основное содержание диссертации Степанова П.П. отражено в 40 печатных изданиях, получены 3 патента РФ. Диссертационная работа Степанова П.П. соответствует требованиям п. 9 Положения «О порядке присуждения ученых степеней», утвержденных постановлением правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г.

Судя по материалам автореферата представленная диссертация Степанова Павла Петровича соответствует требованиям ВАК и он в полной мере достоин присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Зам. директора по научной работе  
Акционерное общество «Центральный ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский и проектный институт строительных металлоконструкций им. Н.П.Мельникова», *специальность 05.16.01 - Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов*  
Д.т.н. Горицкий Виталий Михайлович. Диплом доктора наук ТН № 007535  
АО «ЦНИИПСК им. Мельникова», 117218, г. Москва, ул. Кржижановского, дом. 21/33, кор. 1. Тел. +7(499)128-77-77

Я, Горицкий Виталий Михайлович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Подпись Горицкого Виталия Михайловича заверяю

15.02.2024 г.

*Исполнительный директор  
АО «ЦНИИПСК им. Мельникова»*



*Селиванов Г.Г.*



Акционерное общество «Уральская Сталь»

462353, Россия, Оренбургская обл.,  
г. Новотроицк, ул. Заводская, 1  
Телефон: +7 3537 66-21-53, Факс: +7 3537 66-27-89  
info@uralsteel.com

09.02.2024 № 101/28

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Степанова Павла Петровича  
«Роль микроструктурных факторов в сопротивлении разрушению сварных  
соединений стальных труб»,  
представленной на соискание учёной степени доктора технических наук  
по специальности 2.6.1 - «Металловедение и термическая обработка металлов и  
сплавов»

Важным требованием, предъявляемым к электросварным трубам, является повышение сопротивления разрушению сварных соединений. Несомненно, обеспечение этого требования актуально и представляет огромный интерес. В диссертационной работе Степанова П.П. решению актуальной проблемы способствовала конкретно и чётко сформулированная цель: «повышение вязкости и хладостойкости за счёт целенаправленного управления их структурой и свойствами на основе установленных закономерностей для разработки новых сталей, создания и совершенствования технологий и освоения производства труб с уникальным сочетанием свойств».

Результаты работы достигнуты за счет создания современной научно-обоснованной системы разработки и освоения новых технологий и материалов, включающей в себя стадии математического моделирования процессов, имитации теплового и/или деформационного воздействия на металл с использованием современного оборудования и установление связей между технологическими параметрами и структурой, лабораторного воспроизведения технологической схемы (процесса) с учетом установленных основных технологических параметров, промышленного опробования и затем оценки полученных результатов (структуры, свойств).

В работе использовались современные методы исследования микроструктуры стали: количественная металлография, сканирующая и просвечивающая электронная микроскопия, рентгеноструктурный анализ, дилатометрия корректно применялись основные положения материаловедения.

По автореферату сделаны следующие замечания:

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

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

Приведенные замечания не снижают научную и практическую значимость диссертационной работы. Диссертация является законченным трудом, имеющим научную и практическую значимость, отвечает требованиям ВАК РФ, изложенным в п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением правительства РФ №842 от 24.09.2013 г. Цель работы, состоящая в повышении вязкости и хладостойкости сварных соединений, достигнута. Для этого автором проведена огромная работа по установлению закономерностей целенаправленного управления структурой и свойствами сварных соединений, что позволило разработать новые стали, создать и усовершенствовать технологии и освоить массовое производства труб различного диаметра.

Автор диссертации - «Роль микроструктурных факторов в сопротивлении разрушению сварных соединений стальных труб» Степанов П.П. заслуживает присвоения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.1 - «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Я, Куницын Глеб Александрович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Доктор технических наук  
по специальности 05.16.05 –  
«Обработка металлов давлением»  
Директор по инновациям

09.02.2024

Г. А. Куницын

Телефон: 8(3537) 66-20-03  
Эл. почта: [g.kunitsyn@uralsteel.com](mailto:g.kunitsyn@uralsteel.com)

АО «Уральская Сталь»  
Контактные данные:  
Адрес: 462353, г. Новотроицк,  
Оренбургской области,  
ул. Заводская, 1  
Телефон: 8(3537) 66-24-37  
Эл. почта: [info@uralsteel.com](mailto:info@uralsteel.com)

Подпись подтверждаю:



*Глеб Александрович Куницын*  
АО «Уральская Сталь»

**УТВЕРЖДАЮ**  
Первый проректор СПбПУ Петра Великого  
Член-корреспондент РАН, профессор, д.т.н.

Сергеев В. В.

**ОТЗЫВ**

на автореферат диссертации СТЕПАНОВА Павла Петровича, выполненной на тему «Роль микроструктурных факторов в сопротивлении разрушению сварных соединений стальных труб», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

В настоящее время существует стабильная тенденция переноса основных мощностей нефте- и газодобывающей промышленности в наиболее суровые – арктические зоны РФ. Это потребовало создание новых методик оценки работоспособности трубопроводных систем в условиях низких температур, обеспечения надежности и долговечности трубопроводного транспорта при холодном пуске оборудования в зимние месяцы года и под воздействием агрессивных коррозионных сред. Известно, что наибольшая часть дефектов и повреждений трубопроводов приходится на зоны их сварных соединений, поэтому диссертационная работа Степанова П.П. представляет не только значительный научный интерес, обогащающий современную науку новыми знаниями о процессах, происходящих при сварке толстостенных труб и структурах, возникающих в зонах их сварных соединений, но также имеет высокую практическую значимость – представленные результаты исследований позволяют повысить надежность сварных соединений трубопроводных систем. Исходя из вышеизложенного представленная к защите диссертация является крайне важной и актуальной, а ее результаты уже нашли широкое применение в отечественной промышленности.

*К научной новизне диссертационной работы следует отнести* глубокие исследования особенностей структур сварных соединений труб, выполненных различными видами сварки, установления взаимосвязи между структурой и свойствами металла сварных швов и зон термического влияния в трубах, изготовленных из широкого спектра сталей различных классов прочности, которые позволили автору предложить пути совершенствования структуры и свойств сварных соединений, разработать технологические приемы управления структурой и свойствами сварных соединений и их комбинации, которые позволили повысить качество и работоспособность сварных соединений труб. Автором были определены и ранжированы по степени охручивающего влияния микроструктурные факторы, приводящие к повреждению металла сварного соединения и установлены наиболее опасные инициаторы хрупкого разрушения.

*Преимуществом и новизной диссертационной работы* также являются созданная и реализованная 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 (структуры, свойств) и ее разработка рекомендаций по ее применению для совершенствования структуры и свойств сварных соединений

*Следует отметить высокую практическую значимость* диссертации Степанова П.П. Так, по результатам исследований были разработаны новые составы сталей различных классов прочности, мероприятия по оптимизации процессов их сварки, внедрены

усовершенствованные технологии высокочастотной сварки, новые схемы термической обработки. Была разработана технология и освоено производство труб с уникальными характеристиками, сложного марочного и размерного сортамента: категории прочности до К80; с температурой эксплуатации  $-42\dots-60$  °С; с толщиной стенки до 41 мм, нашедшие применение в производстве труб для трубопроводов «Турецкий поток», «Северный поток-2». По результатам исследований и разработанным рекомендациям было освоено производство нефтегазопроводных труб ТВЧ Ø114–530 мм для эксплуатации во всех климатических регионах РФ, стойких к  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{S}$ ; обсадных труб в хладостойком исполнении, хладостойких труб ТВЧ для ПАО «Газпром», ПАО «Новатэк» и ПАО «Транснефть». Разработки автора также 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 Степанова П. П., составил 609 тысяч тонн, фактический экономический эффект составил 12,39 млрд рублей.

В качестве замечания следует подчеркнуть, что в автореферате написано «Разработаны и внедрены новые составы сталей различных классов прочности (06ХГ2Б, 06Г2НДБ, 06ХГ2НДБ, 06Г2МНДБ, 05ХГ2НМДБ», однако в перечне публикаций автора отсутствуют патенты или другая нормативно-техническая документация на эти марки сталей, что не позволяет установить роль автора в этих разработках.

В целом указанное замечание не снижает общее положительное впечатление о диссертационной работе Степанова П. П., которая написана грамотным техническим языком, содержит значительное количество принципиально новой научно-технической информации и представляет собой законченную научно-квалификационную работу. Полученные автором результаты актуальны, имеют научное и практическое значение, достаточно полно отражены в публикациях, апробированы на международных конференциях.

Таким образом, диссертационная работа Степанова Павла Петровича вполне соответствует критериям «Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 года №842 (ред. От 26.10.2023 г.) предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук, и представляет собой законченное научное исследование, которое вносит несомненный вклад в развитие научных основ анализа микроструктурных факторов в сопротивлении разрушению сварных соединений стальных труб, а автор диссертации Степанов Павел Петрович заслуживает присвоения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Лауреат Премии Правительства РФ в области науки и техники, д.т.н. (05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов), профессор, заведующий лабораторией ресурса материалов



Ермаков Б. С.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», ул. Политехническая, д. 29, Санкт-Петербург, 195251; [office@spbstu.ru](mailto:office@spbstu.ru) Контактный центр: +7 (812) 775-05-30 - для звонков из Санкт-Петербурга; 8 (800) 707-18-99 - для звонков из любого региона РФ.

Я, Ермаков Борис Сергеевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Степанова Павла Петровича и их дальнейшую обработку.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное  
учреждение  
«Научно-учебный центр  
«Сварка и контроль»  
при МГТУ им. Н.Э. Баумана»  
(ФГАУ «НУЦСК при МГТУ им. Н.Э. Баумана»)**

105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д.5., стр.1.  
Тел: (499) 263 -68-02; (499) 261-42-57  
E-mail: [nucsk@mail.ru](mailto:nucsk@mail.ru)

04.03.2024 № 33

на № \_\_\_\_\_

В диссертационный совет

31.1.007.01

на базе Федерального  
государственного унитарного  
предприятия «Центральный  
научно-исследовательский  
институт черной металлургии им.  
И.П. Бардина», 105005, Москва,  
ул. Радио 23/9, стр. 2

### **Отзыв**

на автореферат диссертации Степанова Павла Петровича  
на тему «РОЛЬ МИКРОСТРУКТУРНЫХ ФАКТОРОВ В  
СОПРОТИВЛЕНИИ РАЗРУШЕНИЮ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ  
СТАЛЬНЫХ ТРУБ»,

выполненной по специальности 2.6.1.Металловедение и термическая  
обработка металлов и сплавов, на соискание ученой степени доктора  
технических наук.

Работа посвящена вопросу обеспечение повышенного сопротивления  
хрупкому разрушению сварных швов труб при температурах их  
эксплуатации. Целью работы являлось 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.

Обеспечение повышенного сопротивления хрупкому разрушению сварных соединений труб при температурах их эксплуатации является одной из наиболее важных проблем при эксплуатации электросварных труб. Следует отметить, что обеспечить требуемые свойства сварных соединений существенно труднее, чем обеспечить требуемые свойства основного металла, что связано с многофакторностью происходящих в металле процессов при сварке.

Несмотря на многочисленные исследования, проводимые в данном направлении, особенно актуальным вопросом является установление связей между структурой и свойствами сварных соединений, что связано с отсутствием понимания всего комплекса структурных факторов, определяющих вязкость сварных соединений для различных видов сварки.

Полученные результаты имеют существенную практическую значимость, что подтверждено значительным экономическим эффектом. Содержание диссертационной работы представляет собой решение важной научно-технической и народно-хозяйственной проблемы повышения сопротивления разрушению сварных соединений труб для обеспечения надежности эксплуатации магистральных трубопроводов, а также месторождений, скважин и прочего оборудования нефтегазовых отраслей промышленности.

В качестве недостатков автореферата можно отметить:

1. 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?

2. При сварке ТВЧ предусматривается осадка металла, с формированием грата. Таким образом, часть нагретого металла удаляется. Остается не ясным, каким образом в модели сварки ТВЧ учитывается этот

факт, а также не ясно до какой максимальной температуры был нагрет металл, который оказывается у линии сплавления.

Отмеченные недостатки не снижают ценности выполненной работы и полученных результатов. В целом работа выполнена на достаточно высоком научно-техническом уровне, с использованием современных научных методов и по актуальности темы, обоснованности и новизне результатов удовлетворяет требованиям ВАК к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук. Автор представленной диссертационной работы Степанов П.П. достоин присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.1 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Директор ФГАУ «НУЦСК при МГТУ им. Н.Э. Баумана»,  
д.т.н., доцент



Коберник Н.В.

Коберник Николай Викторович, доктор технических наук, научная специальность 05.02.10 – «Сварка, родственные процессы и технологии», МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, корп. 1, (499) 263-63-91, koberniknv@bmstu.ru





НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»



«Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов



«ПРОМЕТЕЙ»

имени И. В. Горынина  
Государственный научный центр

## О Т З Ы В

на автореферат диссертации

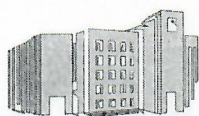
Степанова Павла Петровича

на тему «Роль микроструктурных факторов в сопротивлении разрушению  
сварных соединений стальных труб»,

представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по  
специальности 2. 6.1 – «Металловедение и термическая  
обработка металлов и сплавов»

Работоспособность и эксплуатационные характеристики трубных сталей главным образом определяются качеством сварного соединения, а именно структурой, сформированной в сварном шве и в зоне термического влияния основного металла. При высоком уровне механических свойств и характеристик работоспособности основного металла трубных сталей обеспечение стабильных показателей хладостойкости и трещиностойкости сварных соединений является сложной задачей. Несмотря на большое количество опубликованных работ по этой тематике, следует учесть, что окончательно так и не была установлена связь между структурой и хладостойкостью сварных соединений для труб малого, среднего и большого диаметра.

В связи с этим диссертационная работа Степанова Павла Петровича представляется весьма актуальной и востребованной для трубной отрасли и черной металлургии в целом.



НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей»  
191015, Россия, Санкт-Петербург, улица Шпалерная, дом 49  
Телефон (812) 274-37-96, Факс (812) 710-37-56, mail@crism.ru, www.crism-prometey.ru  
ОКПО 07516250, ОГРН 1037843061376, ИНН 7815021340/ КПП 784201001

Основными объектами исследования данной работы являются дуговая сварка под флюсом и высокочастотная сварка для труб диаметром 60-1420 мм классов прочности от K52 до X120. Для улучшения хладостойкости и трещиностойкости в сварном соединении и зоне термического влияния было выбрано несколько направлений: корректировка химического состава стали с целью снижения склонности к росту аустенитных зерен; целенаправленное изменение сварочных материалов и технологических параметров сварки; выбор режимов термической обработки после сварки, повышение чистоты стали по неметаллическим включениям и примесям.

Используя современные литературные данные и большой объём экспериментальных исследований (математическое моделирование, имитационное моделирование на лабораторном оборудовании, промышленное опробование, сопоставление расчётных термических циклов сварки полученных с помощью математического моделирования с фактическими термическими циклами), выполненных на высоком научно-техническом уровне, автор успешно решил поставленные задачи и разработал принципы управления микроструктурой сварного соединения на основании связи между структурой и свойствами и ранжирования охрупчивающих механизмов. Это в итоге позволило освоить производство труб с уникальными характеристиками сложного марочного и размерного сортамента с температурой эксплуатации  $-42...-60$  °С. Впервые для сварных соединений низкоуглеродистых сталей получены количественные характеристики структурных параметров, контролирующей возможность хрупких разрушений: плотности большеугловых границ зерен, характеристик кристаллографической текстуры с выделением участков с потенциальной склонностью к сколу (доля ориентации площадок  $\{100\}$  в плоскости распространения разрушения), зависимости содержания структурных составляющих, формирующихся в процессе сварки в металле шва и околошовной зоне от скорости охлаждения металла – то есть от погонной энергии сварки. Проанализирована возможность охрупчивания металла

неметаллическими включениями с представлением количественных оценок их опасности при различных структурных состояниях металла.

Достоверность полученных автором результатов подтверждается большим объемом их внедрения при освоении производства труб для трубопроводов «Турецкий поток», «Северный поток - 2», «Сила Сибири», а также нефтегазопроводных труб ТВЧ Ø114-530 мм стойких к CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>S.

К тексту автореферата имеются следующие замечания:

1. В автореферате отсутствует информация по уровню ударной вязкости, которая для металла сварного соединения считается приемлемой по существующей технической документации – то есть 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?

2. На рисунке 14а представлены зависимости ударной вязкости от скорости охлаждения металла имитированной ЗТВ. Точки соединены линейной зависимостью. Однако уровень ударной вязкости более 200 Дж/см<sup>2</sup>, скорее всего, соответствует полностью вязким разрушениям, и единой монотонной зависимости ее от скорости охлаждения быть не должно.

3. Низколегированные низкоуглеродистые стали, изготовленные по технологии термомеханической обработки, склонны к деформационному (механическому) старению. Вероятно влияние этого процесса и на ударную вязкость металла ЗТВ. Но в автореферате не отражено, учитывается ли это явление в работе.

Замечания в значительной степени носят дискуссионный характер и не снижают положительной оценки диссертационной работы П.П. Степанова.

Диссертация посвящена решению важной и актуальной проблемы, выполнена на высоком научно-техническом уровне и представляет собой

законченную научно-исследовательскую работу. Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации. По объёму выполненных исследований, новизне и достоверности полученных результатов и выводов диссертация соответствует требованиям п.9 Положения о порядке присуждения ученых степеней ВАК РФ №842 от 24 сентября 2013 года, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук, а ее автор Степанов Павел Петрович достоин присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.1 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Заместитель генерального  
директора по научной работе  
НИЦ «Курчатовский институт  
– ЦНИИ КМ «Прометей»,  
Доктор технических наук  
(специальность 2.5.8. –  
Сварка, родственные  
процессы и технологии),  
доцент

  
Ильин Алексей Витальевич  
26.02.2024

Я, Ильин Алексей Витальевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Подпись Ильина А.В. заверяю:



*Ильин Алексей Витальевич*  
*И.А. Стародубцева*

## ОТЗЫВ

**на автореферат диссертации Степанова Павла Петровича на тему «Роль микроструктурных факторов на сопротивление разрушению сварных соединений стальных труб», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.1 «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»**

Актуальность данной работы определяется наиболее важным требованием, предъявляемым к свойствам электросварных труб, связанное с обеспечением повышенного сопротивления к хрупкому разрушению при температурах эксплуатации путем управления структурой и свойствами сварных соединений стальных труб различного назначения.

Диссертационная работа имеет четкое обоснование актуальности проблемы, описание состояния вопроса, цель и задачи исследования, общую схему проведения работы и методический подход, а также научную новизну, научную и практическую значимость работы. Завершающие диссертацию выводы в четко сформулированном варианте обобщают научную концепцию, результаты работы и перспективы использования научных результатов диссертации.

Научное новизна диссертации состоит в установлении структурных механизмов, определяющих комплекс свойств сварных соединений изученных видов сварки, в том числе неметаллических включений и кристаллографической текстуры.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в развитии научного направления и разработке металлургических основ получения сварных соединений стальных труб с высокой вязкостью и хладноустойчивостью, разработаны и внедрены новые составы сталей, способы управления сваркой, освоено производство труб с уникальными характеристиками.

Содержание диссертационной работы представляет собой решение важной проблемы повышения сопротивления разрушению сварных соединений труб для обеспечения надежной эксплуатации магистральных трубопроводов, а также оборудования нефтегазовой отрасли промышленности.

Основная концепция работы представлена и апробирована в научных публикациях. Особо необходимо отметить связь докторской диссертации Степанова Павла Петровича с предыдущим исследованием – кандидатская диссертация также посвящена избранному направлению «Оптимизация структуры и свойств сварных соединений толстостенных газопроводных труб класса прочности X70 для подводных трубопроводов».

Такой творческий и исследовательский путь прослеживается в публикационной активности диссертанта в журналах, входящих в базу данных RSCI (категория K1), в журналах категории K2, в изданиях, входящих в базы Web of Science и Scopus, в переводных версиях журналов «Металлург» и «Сталь», в других печатных изданиях и патентах РФ, что говорит о научной ценности и востребованности работы.

В целом, исследования П.П. Степанова составляют крупное научное обобщение. Создана и реализована на практике современная научно-обоснованная система разработки и освоения новых технологий и материалов, включающая в себя стадии математического моделирования процессов, имитация теплового и/или деформационного воздействия на металл с использованием современного оборудования, лабораторной воспроизведение

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 и данная работа вносит существенный вклад в конкретное применение основных положений металловедения.

Принципиальных недостатков при изучении автореферата не отмечено.

Судя по автореферату, докторская диссертация Степанова П.П. отвечает всем требованиям действующего Положения о присуждении ученых степеней ВАК. Автор диссертации безусловно заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.1. «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Я, Чеглов Александр Егорович, согласен на автоматизированную обработку персональных данных, приведенных в этом документе.

**Профессор кафедры «Физическое металловедение» Metallургического института Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Липецкий государственный технический университет» (ЛГТУ), доктор технических наук, лауреат Премии правительства Российской Федерации в области науки и техники**

**Чеглов Александр Егорович**

**специальность 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов**  
398055, Россия, Липецкая обл., г. Липецк, ул. Московская, д. 30, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Липецкий государственный технический университет» (ЛГТУ)

Тел. (4742) 32-80-00, факс (4742) 31-04-73.

Подпись Чеглова А.Е. заверяю.

Начальник отдела кадров ЛГТУ



**Е.Б. Чицова**



## ОТЗЫВ

на автореферат СТЕПАНОВА ПАВЛА ПЕТРОВИЧА  
«РОЛЬ МИКРОСТРУКТУРНЫХ ФАКТОРОВ В СОПРОТИВЛЕНИИ  
РАЗРУШЕНИЮ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ СТАЛЬНЫХ  
ТРУБ» работы, представленной на соискание ученой степени  
доктора технических наук по специальности:

2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

Диссертация направлена на разработку материала и основ технологии формирования микроструктуры сварных соединений стальных труб при высокочастотной сварке, дуговой сварке под флюсом, альтернативных видах сварки и термической обработке, обеспечивающих повышение ударной вязкости и хладостойкости труб различного сортамента, что несомненно, является **актуальным** и носит приоритетный характер.

Обобщением значительного массива результатов экспериментальных исследований автор установил основные закономерности формирования микроструктуры низкоуглеродистых трубных сталей в сварной зоне и в зоне термического влияния. В ходе работы проработаны микроструктурные механизмы, определяющие охрупчивание, а так же предложены и теоретически обоснованы направления улучшения структуры и свойств сварных соединений, что в определенной степени обозначает **научную новизну** работы.

С **практической** точки зрения особую ценность представляет разработка и внедрение новых составов сталей различных классов прочности: 06ХГ2Б, 06Г2НДБ, 06ХГ2НДБ, 06Г2МНДБ, 05ХГ2НМДБ, 06Г1Б, 05ХГБ, в том числе с температурой эксплуатации  $-42...-60$  °С, а так же предложенный способ устранения эффекта структурной наследственности металла шва путем высокотемпературного нагрева и медленного охлаждения, в этом случае при повторной термообработке зерно аустенита шва измельчается. Таким образом, после закалки и высокого отпуска микроструктура шва и зоны термического влияния практически не отличаются: в шве вследствие измельчения зерна аустенита и отсутствия зернограницного феррита игольчатый феррит не формируется, а образуется дисперсный реечный бейнит.

Поставленные в работе задачи решены с помощью современных методов исследования и технологического оборудования. **Обоснованность и достоверность** результатов исследований не вызывают сомнений. Результаты работы **опубликованы** в достаточной степени и прошли апробацию на международных и всероссийских конференциях.

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.

Считаю, что полученные в диссертационной работе результаты имеют важное фундаментальное и практическое значение и представляет собой законченное в рамках обозначенной цели, экспериментальное исследование. Представленные в автореферате положения соответствуют паспорту специальности. По актуальности, научной новизне, целям, задачам и методам исследования диссертационная работа Павла Петровича Степанова на тему «Роль микроструктурных факторов в сопротивлении разрушению сварных соединений стальных труб», соответствует требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор Степанов Павел Петрович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Курганова Юлия Анатольевна,  
д.т.н., профессор кафедры «Материаловедение», *специальность 05.16.06. Порошковая металлургия и композиционные материалы*  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»  
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)  
Адрес: 105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.  
Тел.: 8 (499) 263-63-69,  
e-mail: kurganova\_ya@mail.ru



/Курганова Юлия Анатольевна/

01.03.2024 г.



## ОТЗЫВ

### На автореферат диссертации Степанова П.П. «РОЛЬ МИКРОСТРУКТУРНЫХ ФАКТОРОВ В СОПРОТИВЛЕНИИ РАЗРУШЕНИЮ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ СТАЛЬНЫХ ТРУБ»

представленной на соискание степени доктора технических наук по специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

Диссертационная работа П.П. Степанова, направленная на решение весьма важной для современной металлургии проблемы управления структурой и свойствами сварных соединений стальных труб различного сортамента путем совершенствования состава стали, микро и макроструктуры сварных соединений, оптимизации технологии сварки и последующей термической обработки с целью повышения вязкости и хладостойкости труб и сварных соединений является чрезвычайно актуальной.

Автором работы создана комплексная методика исследования влияния параметров сварки на структуру и свойства сварных соединений, включая имитацию термических циклов сварки в зоне термического влияния с использованием испытательного комплекса Gleeble, отличающаяся точным воспроизведением термического цикла сварки, с оценкой влияния отдельных параметров термического цикла и деформации на микроструктуру и свойства. Получен ряд новых научных результатов, раскрывающих механизмы влияния микроструктуры, текстуры и неметаллических включений на хладостойкость и вязкость стали в центральной части сварного шва и в зоне термического влияния и процессы формирования трещины. Показано, что в зависимости от размеров, оксидные неметаллические включения в сварном шве дуговой сварки под флюсом могут оказывать двойное влияние на свойства сварных соединений. Они могут служить, как местами зарождения игольчатого феррита с высокой плотностью высокоугловых границ, обеспечивая благоприятную микроструктуру матрицы, так и местами зарождения хрупких трещин, в центральной части шва, в области существования зернограницного и видманштеттова феррита. Полученные автором результаты исследований, на основании выявленных связей между структурой и свойствами и определения механизмов охрупчивания металла позволили сформировать концепцию управления микроструктурой сварного соединения за счет изменения химического состава и повышения чистоты сталей по НВ, подбора сварочных материалов, изменения параметров сварки и проведения термической обработки для ослабления текстуры в случае сваркой токами высокой частоты.

С применением разработанной системы исследований и полученных закономерностей установлены пути совершенствования структуры и свойств сварных

соединений, предложены, опробованы и внедрены новые и усовершенствованные технологии, освоено массовое производство новых видов трубной продукции с улучшенным составом и сочетанием эксплуатационных свойств.

По материалам автореферата есть вопросы и замечания:

- В автореферате указано на вредное влияние линзовидных неметаллических включений, образовавшихся вдоль линий сплавления при сварке токами высокой чистоты, но не обсуждается их состав и возможные механизмы образования, что затрудняет формулирование технологических решений для борьбы с данным явлением.

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. Алуминаты достаточно часто являются инициаторами хрупкого разрушения. Однако в автореферате данный вопрос автором не был рассмотрен.

Представленные замечания не влияют на общее положительное впечатление от представленной работы. Основные выводы автореферата органично завершают диссертационную работу, выводы обоснованы и полностью отвечают задачам и результатам исследования. Диссертация представляет собой законченную работу, логично изложена с использованием современной научной терминологии. Результаты диссертационной работы отражены в 23 научных работах в журналах входящих в базу данных RSCI категории K1, 5- в научных журналах категории K1, двух публикаций изданных на английском языке и индексируемых в БД SCOPUS. По результатам исследований автором получено 4 патента РФ.

Степень обоснованности положений, выводов и рекомендаций сформулированных в диссертации определяется комплексным подходом к решению поставленных задач, большим объемом выполненных экспериментов, использованием современного оборудования и методов исследования, корреляцией полученных результатов с данными термодинамического моделирования, созданием оригинальной комплексной технологии проведения исследований, сравнением результатов и выводов с результатами исследований других авторов.

Судя по автореферату, диссертационная работа Степанова Павла Петровича является законченной научно-квалификационной работой на актуальную тему, выполнена на высоком научном уровне, содержит новые результаты по теории и практике производства высококачественных трубных сталей, содержит определенные элементы научной новизны, обладает большой практической значимостью, соответствует

требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842 (в редакции Постановления Правительства РФ от 20.03.2021 №426), предъявляемых к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, 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 (технические науки).

Главный научный сотрудник, заведующий лабораторией  
Федерального государственного бюджетного учреждения  
науки институт металлургии и материаловедения  
им. А.А. Байкова РАН, доктор технических наук, 05.16.02  
«металлургия черных, цветных и редких металлов»  
профессор, академик РАН



Григорович Константин Всеволодович

« 7 » марта 2024 г.

ФГБУН ИМЕТ им. А.А. Байкова РАН,  
119334, г. Москва, Ленинский проспект, 49  
+7 (499) 135-4381  
E-mail: grigorov@imet.ac.ru

Подпись Григоровича К.В. заверяю:

Ученый секретарь ИМЕТ РАН, к.т.н.



О.Н. Фомина



## ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы к.т.н. Степанова П.П.  
«Роль микроструктурных факторов в сопротивлении разрушению сварных соединений стальных труб», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.1 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»

Диссертационная работа Степанова П.П. посвящена решению важной народно-хозяйственной задачи, направленной на повышение эксплуатационной надежности такого ответственного вида продукции, каким являются электросварные трубы различного назначения. Эксплуатационная надежность электросварных труб связана в первую очередь с обеспечением высокого сопротивления разрушению применительно к условиям эксплуатации и обеспечивается высокой вязкостью и хладостойкостью металла труб.

За последнее время было опубликовано большое количество работ, направленных на улучшение качества и повышение комплекса механических свойств металла труб, но, в основном, эти работы касаются служебных характеристик основного металла, хотя известно, что значительное количество аварийных отказов связано с разрушением, очаг которого находился в области в сварном соединении. Сварное соединение по сравнению с основным металлом представляет собой менее однородный и более сложный по своему структурному состоянию элемент электросварной трубы, свойства которого обеспечить на требуемом уровне значительно сложнее из-за большего количества факторов трудно поддающихся целенаправленному воздействию. При этом необходимо отметить, что свойства сварного соединения невозможно повысить без комплексной оценки вклада всех факторов – химического состава стали и технологии производства проката, вида и технологии сварки, состава сварочных материалов (проволоки, флюса и др.), локальной термической обработки шва и др.

Поэтому настоящая работа, в которой улучшение сопротивления разрушению сварного соединения труб различного назначения достигается путем системного подхода к совершенствованию всех значимых факторов – состава стали, структуры сварных соединений, технологических параметров сварки и последующей термической обработки представляется весьма актуальной и востребованной.

Итогом диссертационной работы Степанова П.П. являются ряд важных новых научных результатов, позволяющих управлять свойствами сварного соединения, особенно важным из которых представляется выявление ряда неизвестных микроструктурных механизмов, определяющих сопротивление разрушению сварных соединений и установленное на основе системного подхода ранжирование

микроструктурных факторов по степени их охрупчивающего влияния на металл сварного соединения и выявление наиболее опасных инициаторов хрупкого разрушения.

Важным практическим результатом работы является разработка технологии и освоение производства электросварных труб с уникальными характеристиками и сортаментом: класса прочности до К80; с минимальной температурой эксплуатации до минус 60°C; с толщиной стенки до 41 мм для уникальных проектов трубопроводов: «Турецкий поток», «Северный поток-2» и др.

В качестве замечаний по данной работе можно отметить следующие:

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

- 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.

Сделанные замечания не снижают научной и практической значимости данной работы.

На основании вышеизложенного считаю, что работа соответствует паспорту специальности и в полной мере отвечает требованиям п.9 Положения «О порядке присуждения ученых степеней», утвержденном постановлением правительства РФ №842 от 24 сентября 2013 г., предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор – Степанов П.П. заслуживает присвоения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.1 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

*Согласен на включение в аттестационное дело и дальнейшую обработку моих персональных данных, необходимых для процедуры защиты диссертации Степанова П.П.*

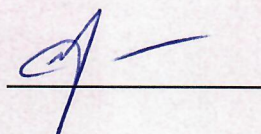
Главный специалист группы по развитию научно-технического центра ПАО «ММК», доктор технических наук (специальность 05.16.05 – Обработка металлов давлением)



Денисов Сергей Владимирович

04.03.2024г.

Подпись Денисова С.В. заверяю:  
инспектор-делопроизводитель НТЦ ПАО «ММК»  
Дмитриева Алена Александровна

A handwritten signature in blue ink, consisting of a stylized 'S' and 'V' followed by a horizontal line, positioned above a solid horizontal line.

**Контактные данные:**

ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат»  
Адрес: 4550020 Челябинская область, г. Магнитогорск, ул. Кирова, 93  
Тел.: +7(3519)25-30-01  
E-mail: denisov.sv@mmk.ru

## Отзыв

на автореферат диссертации Степанова Павла Петровича  
«Роль микроструктурных факторов в сопротивлении разрушению сварных соединений стальных труб», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.1. - Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

Качество сварных соединений одна из «вечнозеленых» проблем металловедения. Её актуальность характерна и для трубной отрасли, где с повышением уровня прочности необходимо обеспечить высокое сопротивление металла разрушению. В этой связи постановка настоящей работы вполне обоснована.

Для её решения автором проведены систематические исследования, включившие в себя, пожалуй, весь доступный в настоящее время (из необходимых) перечень средств и методов исследования. Это обеспечило уровень полученных результатов, а их высококвалифицированный анализ и обобщение определили масштаб научной новизны работы. Это все вместе взятое, сделало обоснованным поиск соответствующих технологических решений и их широкое внедрение в производственной практике.

По работе есть некоторые замечания:

- 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;

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

- из текста автореферата не вполне ясно каким образом оценивалась хладостойкость сварных соединений.

Сделанные замечания не снижают общего положительного впечатления о диссертации. Диссертация Степанова Павла Петровича является законченным научно - исследовательским трудом, в рамках которого автором представлены новые научно обоснованные технологические решения, направленные на повышение сопротивления разрушению сварных

соединений стальных труб, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие нефтегазовых отраслей страны.

Диссертационная работа по своему теоретическому, методическому и экспериментальному уровню, объему работы, актуальности, научной новизне, теоретической и практической значимости полученных результатов соответствует требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям «Положением о порядке присуждения ученых степеней» (в ред. Постановления Правительства РФ от 24.09.2013 N 842 (ред. от 26.01.2023г.), а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.1 - Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Профессор кафедры металловедения  
и физики прочности НИТУ МИСИС,  
доктор технических наук  
по специальности 05.16.01- Металловедение  
и термическая обработка металлов,  
профессор

Кудря Александр Викторович

«11» марта 2024 г.

Почтовый адрес:  
19049, г. Москва, Ленинский проспект, д. 4, стр. 1  
телефон: +7(495)955-00-13  
e-mail: AVKudrya@misis.ru



Подпись

веряю

начальника  
дела кадров

Кузнецова А.Е.

«11» 03 2024 г.





## **Смирнов**

*Леонид Андреевич*

*академик*

*тел.: 374-03-91, 374-84-47, факс: 374-14-33*

*e-mail: [uim@ural.ru](mailto:uim@ural.ru), [smirnov@uim-stavan.ru](mailto:smirnov@uim-stavan.ru)*

### **ОТЗЫВ**

на автореферат диссертации Степанова Павла Петровича, выполненной на тему «Роль микроструктурных факторов в сопротивлении разрушению сварных соединений стальных труб», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.1 - Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

Современное развитие отечественной нефтегазовой промышленности требует повышения качества и надежности электросварных труб. Чрезвычайно важное значение имеет получение сварных соединений труб с высоким уровнем сопротивления разрушению. В связи с этим диссертационная работа Степанова Павла Петровича является актуальной.

Научная новизна полученных в работе результатов также не вызывает сомнения. Выполненные комплексные исследования и полученные результаты позволяют с высокой степенью надежности управлять структурой и свойствами сварных соединений стальных труб, относящихся к наиболее сложным видам металлпродукции. В работе выявлены и ранжированы структурные механизмы, которые снижают вязкость и хладостойкость сварных соединений, выполненных двумя наиболее распространенными видами сварки, предложены и опробованы в промышленных условиях пути и подходы к совершенствованию структуры и свойств различных зон сварных соединений. Сформулированные в работе положения являются научной основой совершенствования составов сталей и технологий сварки.

Полученные в работе практические результаты мирового уровня нашли широкое применение в промышленных условиях на ряде отечественных предприятий, что позволило улучшить свойства сварных соединений труб, освоить производство новых видов трубной продукции для ключевых компаний нефтегазовой отрасли, получить значительный экономический эффект.

По работе есть замечания:

1. В автореферате указано, что разработаны и внедрены новые составы сталей различных классов прочности (06ХГ2Б, 06Г2НДБ и т.д., в том числе для труб большого диаметра). Требуется пояснить, как эти материалы соотносятся с темой работы, направленной на повышение вязкости сварных соединений?


2. В результате проведенных исследований автором разработаны новые способы повышения сопротивления разрушению сварных соединений. Из автореферата не ясно, выдвигаются ли автором какие-либо дополнительные требования к металлургическому качеству трубной стали?

3. Недостаточно внимания уделено, на наш взгляд, влиянию микролегирующих элементов, в частности, недефицитного в нашей стране, ванадия, на сопротивление разрушению сварных соединений труб, с учетом известного положительного их влияния на микроструктуру и свойства металлопроката.

Указанные замечания не снижают значимости диссертационной работы, поскольку не затрагивают ее основных положений.

В целом считаю, что диссертационная работа «Роль микроструктурных факторов в сопротивлении разрушению сварных соединений стальных труб» является законченной научно-исследовательской работой, представляет собой решение важной научно-технической и хозяйственной проблемы и удовлетворяет требованиям п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней (Постановление Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 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.

Академик РАН  
Научный руководитель АО «Уральский институт металлов», главный научный сотрудник ИМЕТ УрО РАН, доктор технических наук, профессор

 Л.А. Смирнов

специальность 05.16.02 – Металлургия чёрных, цветных и редких металлов

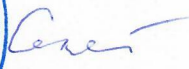
Я, Смирнов Леонид Андреевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Гагарина, 14, Акционерное общество «Уральский институт металлов» (АО «УИМ»); тел.: (343) 374-03-91; e-mail: [uim@ural.ru](mailto:uim@ural.ru)

Подпись Л.А. Смирнова заверяю

Ученый секретарь института,  
кандидат технических наук





А.И. Селетков

18.03.2024

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы  
Степанова Павла Петровича  
«Роль микроструктурных факторов в сопротивлении разрушению сварных  
соединений стальных труб»,  
представленной на соискание ученой степени  
доктора технических наук по специальности  
2.6.1 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

Обеспечение надежной работы трубопроводов является в настоящее время одной из важнейших задач в связи с огромной протяженностью магистралей в стране и за ее пределами и сложными условиями их работы в разных климатических и сейсмических зонах. Самым уязвимым участком сварных труб является сварное соединение, характеризующееся существенным изменением структуры и свойств как в самом сварном шве, так и в прилегающих объемах основного металла. С этих позиций диссертационная работа Степанова П.П., посвященная всестороннему анализу особенностей структурообразования металла в сварных соединениях и в околошовной зоне и установлению влияния формирующихся структур на свойства несомненно является актуальной, как в научном, так и в практическом плане.

В работе подробно рассмотрены закономерности формирования структуры металла в области сварных швов, полученных различными технологиями сварки: дуговой сваркой под флюсом и сваркой ТВЧ. Подробнейшим образом исследованы микроструктуры сварных соединений при разных режимах сварки. Установлены факторы, влияющие на фазовый состав, тонкую структуру и свойства сварных соединений.

Положения научной новизны многочисленны и четко аргументированы. К наиболее интересным, на мой взгляд, следует отнести установленные закономерности влияния морфологии бейнитной структуры и кристаллографических кластеров на хладостойкость трубных сталей.

Практической значимости работы посвящена отдельная глава диссертации, где описаны результаты внедрения разработок в производство и приведены данные об экономическом эффекте.

В целом работа поражает объемом и глубиной проведенных исследований и масштабами внедрения результатов. На мой взгляд, работа представляет собой идеальный пример сочетания фундаментальных подходов и практического применения полученных результатов.

Несмотря на это, можно сделать некоторые замечания.

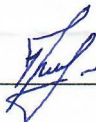
1. В качестве одного из основных эксплуатационных свойств автор справедливо использует хладостойкость. Однако, количественные характеристики хладостойкости, в частности, температуры хрупко-вязкого перехода, на приведены.
2. Автор неудачно использует термин «ранжирование» механизмов охрупчивания, что подразумевает расположение причин по степени

влияния. Однако в работе не проведена оценка масштаба негативного влияния того или иного микроструктурного фактора, а просто приведен перечень причин.

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

Замечания не влияют на чрезвычайно высокую оценку диссертационной работы, выполненной автором на высоком научном уровне с применением современных методов исследований. Диссертационная работа «Роль микроструктурных факторов в сопротивлении разрушению сварных соединений стальных труб» является актуальным и законченным научным исследованием и соответствует специальности 2.6.1– “Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов”. Работа полностью отвечает требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней. Автор представленной работы, Степанов Павел Петрович, достоин присуждения искомой степени доктора технических наук.

Я, Маркова Галина Викторовна, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.



---

Маркова Галина Викторовна

доктор технических наук на стыке специальностей 05.16.01 –  
Металловедение и термическая обработка металлов и 01.04.07 – Физика  
конденсированного состояния, профессор кафедры «Машиностроение и  
материаловедение» Федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования «Тульский  
государственный университет» (ФГБОУ ВО ТулГУ)

300012, г. Тула, пр. Ленина, д. 92

Тел.: 8(4872) 35-34-44, факс: 8(4872) 35-81-81, e-mail: [info@tsu.tula.ru](mailto:info@tsu.tula.ru)

«11» марта 2024 г.



## ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы 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»

Повышение надежности эксплуатации магистральных трубопроводов и трубной продукции для нефтедобывающей промышленности является важной научно-технической задачей. Диссертационная работа Степанова П.П. направлена на развитие направления и разработку материаловедческих основ получения сварных соединений стальных труб с высокими показателями вязкости и хладостойкости за счет установления связей между структурой и свойствами сварного соединения, механизмов разрушения и выявления технологических воздействий, позволяющих улучшить структуру и сопротивление разрушению сварных соединений, таким образом актуальность работы Степанова П.П. не вызывает сомнений.

В ходе выполнения работы автором получены следующие оригинальные результаты:

1. На основании проведения систематических исследований структуры основного металла и сварных соединений труб диаметром от 60 до 1420 мм, произведенных с использованием различных видов сварки, установлены основные связи между структурой и свойствами, ранжированы микроструктурные механизмы, определяющие сопротивление разрушению основного металла и сварных соединений. Установлены особенности и закономерности формирования микроструктуры и кристаллографической текстуры сварных соединений при высокочастотной сварке, дуговой сварке под флюсом, альтернативных видах сварки термической обработки.

2. Выявлена общая картина микроструктурных механизмов, определяющих вязкость сварных соединений в сопоставлении с основным металлом исследованных сталей для исследованных видов сварки.

3. Определена иерархия микроструктурных механизмов охрупчивания для сварных соединений и основного металла труб.

4. На основании анализа всего комплекса полученных результатов исследований предложены подходы к управлению структурой сварных соединений, совершенствованию технологии сварки, улучшению свойств различных зон сварных соединений.

Практическая значимость результатов работы:

1. На основе анализа и обобщения комплекса полученных результатов исследований разработаны и опробованы технологические приемы управления структурой и свойствами сварных соединений и их комбинации, выявлен ряд эффектов, позволяющих улучшить свойства сварных соединений.

2. Разработаны и внедрены новые составы сталей различных классов прочности, мероприятия по снижению тепловложения при сварке. Оптимизированы состав и структура шва при дуговой сварке под флюсом, внедрены усовершенствованные технологии высокочастотной сварки для гарантии удаления оксидов в грат, новые схемы термической обработки.

3. Разработана технология и освоено производство труб с уникальными характеристиками, сложного марочного и размерного сортамента: категории прочности до K80; с температурой эксплуатации от минус 42 °С до минус 60 °С с толщиной стенки до 41 мм. В том числе, освоено производство труб для уникальных проектов трубопроводов «Турецкий поток», «Северный поток-2» и др.

Полученные в работе результаты нашли применение и внедрение на ТЭСЦ-1, ТЭСЦ-3, ТЭСЦ-4, ТЭСЦ-5 АО «ВМЗ», АО «Трубодеталь», АО «Газпром трубинвест», Альметьевском заводе ОМК, АО «ИТЗ» и могут быть использованы при разработке и совершенствовании технологий сварки и термомеханической обработки сталей для электросварных труб малого, среднего и большого диаметров.

Диссертация Степанова П.П. соответствует требованиям п.9 Положения по присуждению ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года №842, и требованиям ВАК, предъявляемым к докторским диссертациям, а её автор Степанов Павел Петрович заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук.

Генеральный директор  
ГНЦ РФ АО «НПО «ЦНИИТМАШ»  
доктор технических наук  
(специальность 05.16.01 «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»)



18.03.2024

Орлов Виктор  
Валерьевич

Заместитель генерального директора -  
директор института материаловедения  
ГНЦ РФ АО «НПО «ЦНИИТМАШ»,  
кандидат технических наук  
(специальность 05.16.01 «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»)

18.03.2024

Козлов Павел  
Александрович

Сведения об организации:

Государственный научный центр Российской Федерации Акционерное общество «Научно-производственное объединение «Центральный научно-исследовательский институт технологии машиностроения»

115088, Россия, г. Москва, ул. Шарикоподшипниковская, д.4

Электронный адрес: [cniitmash@cniitmash.ru](mailto:cniitmash@cniitmash.ru), Телефон: +7 495 675-8900

Я, Орлов Виктор Валерьевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Степанова Павла Петровича и их дальнейшую обработку.

Я, Козлов Павел Александрович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Степанова Павла Петровича и их дальнейшую обработку.

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Степанова Павла Петровича «Роль микроструктурных факторов в сопротивлении разрушению сварных соединений стальных труб», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Обеспечение надежной эксплуатации магистральных труб большого диаметра в настоящее время является одной из важнейших задач отечественной промышленности. Существующие методы сварки труб с нагревом в широком интервале температур и последующим охлаждением с различными скоростями не могут обеспечить однородной структуры всего изделия, что весьма затрудняет оценку долговечности этих изделий и не позволяют с достаточной степенью надежности прогнозировать ресурс работы газопроводной системы, так как не контролируют такой важный структурный параметр материала трубной заготовки, как текстура и обусловленная ею анизотропия механических свойств. Исходя из этого, весьма актуальными следует считать работы, связанные с поисками способов управления структурой, оптимизацией технологических параметров сварки и последующей термической обработки трубных заготовок. В настоящее время разработка научно обоснованной системы выбора новых технологий сварки отсутствует, как и формулировка требований к микроструктуре и свойствам сварного соединения, полученного разными видами сварки.

Несмотря на значительное количество опубликованных работ по данному вопросу, не существует обобщенных данных, позволяющих получить общее представление об установленных связях между структурой и свойствами сварных соединений, полученных различными видами сварки. Для успешного решения этой задачи необходима разработка новых и совершенствование существующих методов оценки влияния структурных факторов на количественные параметры анизотропии механических свойств и особенности разрушения трубных заготовок, в том числе и с учетом влияния коррозионной среды. В связи с этим диссертационная работа Степанова П. П., посвященная изучению роли микроструктурных факторов в сопротивлении хрупкому разрушению сварных соединений труб различного сортамента с целью совершенствования существующих технологий производства изделий широкого ассортимента является **актуальной**.

Для решения поставленной задачи диссертант использует современные методы структурного анализа и механических свойств низкоуглеродистых трубных сталей – оптической микроскопии и рентгеноструктурного анализа, корректно применяет апробированные и новые методы расчета структурных

параметров, принятых в современном металловедении. Структурные исследования дополнены стандартными испытаниями механических свойств, коррозионными испытаниями. Полученные в работе результаты имеют **практическое значение**, а именно – могут служить научно-обоснованной базой для разработки новых технологических приемов производства труб для уникальных видов трубопроводов.

В диссертационной работе получен ряд **новых результатов и выводов**. Наиболее существенным, на наш взгляд, являются установленный в работе микроструктурный механизм повышения ударной вязкости металла в зоне термического влияния исследованных низколегированных сталей при понижении скорости охлаждения, что существенно повлияло на плотность границ за счет формирования реечного бейнита взамен зернограничного феррита. Автор обращает внимание на недостаточную изученность особенностей формирования структуры сварных соединений труб, выполненных различными видами сварки, что затрудняет развитие перспектив новых разработок в данном направлении. Предполагается, что сдвиговая компонента текстуры и ее протяженность по толщине стенки трубной заготовки может быть использована в качестве количественного критерия при оценке неоднородности деформированной структуры, а, следовательно, и ресурсной характеристики материала магистральных труб. Ценным практическим результатом настоящей диссертационной работы является разработка и опробование технологических приемов управления структурой материала в процессе сварки, опробованных технологических приемов сварки, что дает возможность несложного расчета остаточного ресурса магистральных труб.

По автореферату имеются следующие **замечания**:

1. В цели работы не указаны материалы или группа материалов, предназначенных для исследования.
2. Объем автореферата превышает требования ВАК РФ.

Сделанные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы и не затрагивают основных выводов и положений, выносимых на защиту.

По актуальности, новизне, теоретической и практической значимости, обоснованности выводов и положений, выносимых на защиту, диссертационная работа «Роль микроструктурных факторов в сопротивлении разрушению сварных соединений стальных труб» соответствует требованиям п. п. II.9 Положения о присуждении ученых степеней ВАК РФ, 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.



Доктор технических наук, профессор  
главный научный сотрудник  
лаборатории физики упрочнения поверхности  
Института физики прочности и материаловедения  
Сибирского отделения РАН

2.02.2022г.

Сизова Ольга Владимировна

специальность 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов  
адрес: 634055, г. Томск,  
пр. Академический, 2/4  
тел. (3822) 286-970  
E-mail: [ovs@ispms.tsc.ru](mailto:ovs@ispms.tsc.ru)

Подпись О.В. Сизовой удостоверяю:  
Ученый секретарь ИФПМСО РАН,  
к. ф-м. н.



Матолыгина Наталья Юрьевна