

Отзыв

официального оппонента Ефименко Любови Айзиковны 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

С ростом класса прочности трубных сталей и повышении требований по их надежности вопросы оптимизации структурных факторов и их взаимосвязь с сопротивлением сварных соединений разрушению исключительно актуальны и требуют глубокого изучения. В частности, выявления закономерностей формирования структуры сварных соединений, путей управления ею, установления, ранее недостаточно изученных, связей между структурой и свойствами сварных соединений, формирующихся в условиях различных сварочных процессов.

Поэтому считаю, что **тема диссертационной работы** П.П. Степанова и, поставленные в ней металлургические и технологические задачи, безусловно, являются актуальными.

Цель настоящей работы, направленную на повышение хладостойкости сварных соединений путем целенаправленного управления их структурой и свойствами, на основе установленных закономерностей, для разработки новых сталей, создания и совершенствования технологий производства труб малого, среднего и большого диаметра, считаю обоснованной.

Диссертация состоит из введения, 6 глав, общих выводов, списка литературных источников из 403 наименований и приложений, содержит 416 страниц машинописного текста, 247 рисунков, 33 таблицы. В приложениях представлен химический состав исследованных материалов и акты о внедрении и использовании полученных результатов на промышленных предприятиях.

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

В первой главе с металлургической точки зрения, анализируются технологии сварки, применяемые при производстве стальных труб, выявляются их особенности. В качестве основных сварочных процессов для исследования реакции сталей на термические циклы сварки выбраны: многодуговая сварка под флюсом (ДСФ) и сварка токами высокой частоты (ТВЧ), существенно отличающиеся принципом формирования сварных соединений, тепловложением и локальностью ввода тепла.

Высокой оценки заслуживает развитие методического подхода и трактовки результатов методов имитации термических циклов сварки (ТЦС) в ЗТВ, а так же выполненное сравнение расчетных и экспериментальных значений ТЦС, показавшее их хорошую сходимость, обеспечивающую в дальнейшем, достоверность получаемых научных результатов.

В главе 2 приведены результаты тщательных исследований микроструктуры металла шва и зоны термического влияния сварных соединений, сформированных при ДСФ и структуры сварных соединений, выполненных сваркой ТВЧ. Изучено влияние теплофизической обстановки в зоне сварки на морфологию структуры.

Применение современных методик и оборудования позволило диссертанту получить ряд новых интересных, с позиции повышения сопротивления сварных соединений разрушению, металлургических результатов.

Показано, что в металле шва сварных соединений, выполненных ДСФ наблюдается анизотропная форма столбчатых кристаллитов, приводящая при $\gamma - \alpha$ превращении, к образованию вдоль их вытянутых сторон более крупных зерен зернограничного феррита. При этом внутри зерен бывшего аустенита, на оксидных неметаллических включениях, образуется множество зерен игольчатого феррита, границы между которыми являются высокоугловыми.

Установлено, что увеличение скорости охлаждения металла шва способствует изменению морфологии его микроструктуры, выражающемуся в уменьшении доли зернограничного и квазиполигонального феррита и формировании преимущественно игольчатого феррита. Так, по данным автора, при увеличении скорости охлаждения от 1,0 до 12 °С/с объемная доля игольчатого феррита в металле шва составляет 97,8%, при прочих равных условиях.

В сварном соединении, выполненном ТВЧ в области линии сплавления формируется зона шириной 100-120 мкм с сильно текстурированной крупнозернистой ферритной микроструктурой. Показано, что объемная доля кристаллографических кластеров (групп смежных зерен феррита) с плоскостями {001} ориентированными параллельно ($\pm 20^\circ$) составляет 25-30% в сравнении с 12% в основном металле. При ТВЧ сварке максимальный размер кристаллографических кластеров (потенциальных фасеток скола) в 3-5 раз превышает максимальный размер зерен феррита.

Показано влияние локальной термической обработки на кристаллографическую текстуру сварных соединений ТВЧ. Установлено, что нормализация приводит к ослаблению кристаллографической текстуры, в то время как ЛТО - закалка от 980°C и отпуск 700°C усиливает текстуру.

Глава 3 посвящена исследованию связей между микроструктурой, вязкостью и особенностями разрушения сварных соединений.

Установлено, что на величину ударной вязкости сварного шва, выполненного дуговой сваркой под флюсом, влияет размер и пространственная ориентация столбчатых зерен бывшего аустенита, размер зерен зернограничного феррита, их форма и расположение, их сочетание с неметаллическими

включениями, а также размер кристаллографических кластеров {001}, параллельных плоскости излома.

Показано, что при осевой ориентировке столбчатых зерен аустенита фронт магистральной трещины проходит по непрерывной цепочке зерен ЗГФ, выстроившихся вдоль параллельных надрезу границ аустенита. Это повышает склонность к транскристаллитному сколу.

Установлено, что с точки зрения микроструктуры ЗТВ, ударная вязкость и хладостойкость повышаются при исключении зернограничного и видманштеттова феррита и замене гранулярного бейнита речным бейнитом (РБ). Основным механизмом повышения вязкости является увеличение плотности высокоугловых границ в результате формирования пакетов РБ при повышении скорости охлаждения.

Выявлено, что в случае нагрева металла околошовного участка ЗТВ с грубозернистой структурой в $\alpha+\gamma$ -области причинами снижения ударной вязкости являются повышение доли и размера МА-составляющей, ее расположение в виде цепочек по границам зерен.

Инициатором хрупкого разрушения в сварном соединении, выполненном дуговой сваркой, может быть крупный бейнитный пакет ($>150\mu\text{м}$), содержащий включение на основе TiN (Ti,Nb(C,N)), ориентированный так, что плоскости скола в нем параллельны или близки поверхности разрушения.

В сварных соединениях, выполненных высокочастотной сваркой инициаторами разрушения могут явиться оксиды в виде пленок или скоплений, деформированные в цикле сварки линзовидные неметаллические включения, попавшие в область сплавления из основного металла.

Глава 4 посвящена исследованию характера разрушения сварного шва и основного металла трубных сталей. Выделены микроструктурные факторы, определяющие падение ударной вязкости. Установлено, что характер температурной зависимости ударной вязкости определяется матрицей микроструктуры, наличием в ней областей структурной неоднородности, с пониженной плотностью высокоугловых границ, и неметаллических включений.

К числу новых результатов работы следует отнести создание системы ранжирования микроструктурных факторов, по их охрупчивающему влиянию на сварные соединения, выполненные двумя способами сварки. Это позволило выстроить системный подход к оптимизации их структуры и свойств.

В пятой главе на основе анализа и обобщения полученных результатов автором сформулированы подходы и технологические пути совершенствования структуры и ударной вязкости сварных соединений сталей разных химических составов.

При использовании высокочастотной сварки автором предложено и опробовано 10 технологических решений, направленных на полное удаление сварочных окислов в грат, уменьшение количества линзовидных включений вблизи ЛС, ослабление неблагоприятной кристаллографической текстуры, исключение

формирования мартенсита по ликвационным участкам, измельчение эффективного зерна и др.

При автоматической дуговой сварке под флюсом разработаны и опробованы 15 технологических решений, направленных на измельчение размера зерна аустенита, улучшения микроструктуры металла шва и крупнозернистой структуры в ОШУ ЗТВ, обеспечивающий требуемый комплекс значений ударной вязкости.

Практическое применение и внедрение полученных научных результатов (глава 6) позволило разработать новые и усовершенствовать, с позиции свариваемости, химические составы ряда сталей и рекомендовать для них технологии сварки. Разработана технология и освоено промышленное производство труб большого диаметра (с толщиной стенки до 41 мм) категории прочности до К70, с минимальной температурой эксплуатации до -60 °С. Трубы использованы при строительстве уникальных газопроводов: «Турецкий поток», «Северный поток-2» и др. Освоено производство хладостойких (-20 °С) труб диаметром до 530 мм класса прочности до К60 для ПАО «Газпром», ПАО «Новатэк» и ПАО «Транснефть».

Разработана и освоена в условиях АО «ВМЗ» технология производства обсадных труб способом ТВЧ в хладостойком исполнении и муфт к ним для нефтяных и газовых скважин, в том числе для холодных (до -50 °С) регионов, а также труб из стали 05ХГБ с требованиями по стойкости против углекислотной и сероводородной коррозии для промысловых трубопроводов и др.

Разработки внедрены на пяти промышленных предприятиях страны: АО «ВМЗ», АО «Трубодеталь», АО «Газпром трубинвест», Альметьевском заводе ОМК, АО «Ижорский трубный завод». Подтвержденный экономический эффект превысил 12 млрд. рублей.

Достоверность полученных результатов, обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций в диссертационной работа П.П. Степанова подтверждается корректным применением положений материаловедения, проведением экспериментальных исследований на современном сертифицированном оборудовании, большим объемом выполненных экспериментов и использованием для обработки результатов современного лицензионного программного обеспечения, согласованностью результатов лабораторных и промышленных испытаний, а также результатами реализации технологических решений в промышленных условиях. Основные положения диссертации прошли апробацию в научно-технической периодической печати и конференциях.

Диссертация и автореферат диссертации по структуре и оформлению соответствуют требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011.

Представленная работа оригинальна и содержит новые результаты и подходы к управлению структурой и свойствами сварных соединений.

Научная новизна работы заключается в развитии научного направления и разработки металловедческих основ получения сварных соединений стальных труб с высокой ударной вязкостью и хладостойкостью. В выявлении и ранжировании основных микроструктурных факторов по степени их охрупчивающего влияния на металл шва и зоны термического влияния сварных соединений, выполненных многодуговой сваркой под флюсом и сваркой токами высокой частоты. В установлении критического размера зерна матрицы, приводящего к проявлению охрупчивающего влияния неметаллических включений и кристаллографической текстуры.

По работе имеются следующие замечания и рекомендации:

1. Хотелось бы более четко понять, на основании чего ранжированы охрупчивающие микроструктурные факторы?
2. Из полученных результатов не совсем ясно учитывалось ли влияние соотношения содержащихся в исследованных сталях азота и титана на сопротивление разрушению?
3. Хотелось бы получить более подробные пояснения о возможности управления процессом формирования речного бейнита, благоприятно влияющего на ударную вязкость зоны термического влияния сварного соединения.
4. В работе много внимания уделяется созданию и применению системы исследований и разработок, но ведь такая последовательность действий (от моделирования до промышленного опробования и оценки результатов) логична и понятна, в чем особенность подхода?
5. Представляло бы интерес получения соотношений размеров элементов микроструктуры с размерами фрактографических характеристик поверхностей разрушения сварных соединений.

Заключение

В целом в диссертационной работе решены крупные металловедческие и технологические задачи, внедрение которых вносит существенный вклад в развитие научно-технологического потенциала страны. Обозначенные в работе цели и задачи исследования достигнуты, а положения, выносимые на защиту, доказаны.

Работа соответствует формуле и направлениям исследований 2, 4, 5, 6 специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации. Результаты диссертационной работы достаточно полно были представлены на 16 научно-технических конференциях и опубликованы в журналах, включая рецензируемые издания, рекомендованные ВАК РФ (29 работ) и входящие в международную базу данных Scopus (13 работ), получены 3 патента на изобретения.

Результаты диссертационной работы внедрены на 5 крупнейших предприятиях, что подтверждено соответствующими актами.

По актуальности темы, научной новизне, степени обоснованности научных положений, научно-практической значимости диссертация «Роль микроструктурных факторов в сопротивлении разрушению сварных соединений стальных труб» отвечает требованиям ВАК РФ, предъявляемым к докторским диссертациям («Положение о присуждении ученых степеней, утвержденное постановлением правительства РФ №842 от 24.09.2013 г. (ред. от 26.10.2023 г.), 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.

Профессор кафедры
сварки и мониторинга нефтегазовых сооружений
ФГАОУ ВО «РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина»,
доктор технических наук (05.02.10. Сварка, родственные
процессы и технологии), профессор

Ефименко Любовь Айзиковна,



РГУ нефти и газа (НИУ)
имени И.М. Губкина
начальник методологического
20.02.2024г.

Я, Ефименко Любовь Айзиковна, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

ФГАОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина». 119991, Россия, Москва, Ленинский пр-т., д.65. Email: lefimen@yandex.ru. Тел. 8 (916) 848-36-70.