

## ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу Худякова Артема Олеговича на тему:  
«Повышение эксплуатационных свойств сварных соединений высокопрочных толстостенных прямошовных труб большого диаметра», представленной на соискание  
ученой степени кандидата технических наук по специальности  
05.02.10 – Сварка, родственные процессы и технологии.

### **Актуальность работы**

В настоящее время в мире наблюдается устойчивая тенденция к увеличению объема потребления энергоресурсов, основную долю которых составляют углеводороды. Сохраняется тенденция к усложнению условий не только добычи, но и транспортировки нефти и газа, а, следовательно, магистральные трубопроводы прокладывают и эксплуатируют в сложных климатических условиях, в заболоченной местности, в акватории морей, в северных и сейсмоопасных регионах. На эксплуатационную надежность трубопроводов, транспортирующих сероводород-содержащие среды, в наибольшей степени оказывает именно сульфидное коррозионное разрушение под напряжением (СКРН), особенно при эксплуатации в условиях низких температур. Механические и коррозионные свойства сварного соединения (наиболее проблемным местом которого является зона термического влияния) определяются типом и параметрами его микроструктуры, которая в свою очередь зависит от термического цикла сварки, химического состава основного металла трубы и сварочных материалов.

В связи с вышесказанным диссертационная работа соискателя, посвященная повышению таких важнейших эксплуатационных свойств продольных сварных соединений высокопрочных магистральных трубопроводов, как стойкость к СКРН, ударная вязкость при отрицательных температурах и критическое раскрытие в вершине трещины является чрезвычайно актуальной.

### **Цель, новизна, обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций**

Основной целью диссертационной работы Худякова А.О. является достижение нового уровня эксплуатационных свойств толстостенных труб большого диаметра (ТБД) из современных сталей класса прочности К60 по средствам решения следующих важных научно-практических задач:

- Исследовано влияния целого ряда микролегирующих элементов на вязкопластические свойства продольных сварных соединений высокопрочных ТБД и разработаны практические рекомендации по модифицированию химического состава используемой стали, что привело к повышению свариваемости и вязкопластических характеристик;

- Установлена закономерность влияния термических циклов сварки и скоростей охлаждения на микроструктуру, вязкопластические свойства и стойкость к сульфидному коррозионному растрескиванию под напряжением участка перегрева зоны термического влияния (ЗТВ) продольных сварных соединений ТБД.

- Установлен диапазон скоростей охлаждения, в котором обеспечиваются требования к эксплуатационным характеристикам сварного соединения, с помощью анализа скоростей охлаждения на участке перегрева ЗТВ на основе численного моделирования тепловых полей посредством метода конечных элементов при

многодуговой сварке под флюсом. Также определен необходимый уровень погонной энергии сварки для обеспечения требуемой скорости охлаждения на участке перегрева ЗТВ;

- Разработаны технологические рекомендации по режимам многодуговой сварки, обеспечивающие скорость охлаждения на участке перегрева ЗТВ в целевом диапазоне.

**Научная новизна** диссертационной работы состоит в том, что установлено влияние микролегирующих элементов на вязкопластические свойства участка перегрева ЗТВ продольных сварных соединений высокопрочных ТБД. Впервые определены целевые диапазоны скоростей охлаждения на участке перегрева ЗТВ, обеспечивающие высокие значения критического раскрытия в вершине трещины и стойкость к СКРН продольных сварных соединений высокопрочных ТБД;

**Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций**, содержащихся в диссертационной работе подтверждается использованием апробированных, стандартизированных методов исследований, аттестованных приборов и оборудования, применением расчетно-экспериментальных методов исследований с помощью программного комплекса SYSWELD, комплекса физического моделирования Gleeble 3800, методов металлографического анализа, механических испытаний.

Основные результаты диссертации опубликованы в 16 научных работах, из них 8 в изданиях, рекомендованных ВАК РФ и апробированы на конференциях в 2013-2018 годах. Получены 3 патента РФ на изобретения.

### **Структура, содержание и объем диссертации**

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, выводов, списка литературы из 186 наименований. Работа изложена на 152 страницах, содержит 81 рисунок и 32 таблицы.

Во введении обоснована актуальность тематики исследования, сформулированы цель работы и задачи исследования, отмечены научная новизна полученных результатов, практическая значимость работы и положения, выносимые на защиту.

В первой главе на основе обзора научно-технической литературы изучено состояние вопроса: показаны тенденции развития системы транспортировки газа в РФ, проведен обзор и анализ действующих требований, предъявляемых к сварным соединениям ТБД, описаны особенности металлургических процессов, протекающих в стали при многодуговой сварке труб, а также рассмотрены существующие способы повышения вязко-пластических свойств сварных соединений труб большого диаметра.

Во второй главе описаны исследования влияния содержания микролегирующих элементов на вязкопластические свойства металла шва и участка перегрева ЗТВ сварных соединений ТБД. Представлены результаты экспериментальных и лабораторных исследований по изучению влияния содержания микролегирующих элементов и термических циклов сварки на микроструктуру, вязкопластические свойства и стойкость к СКРН участка перегрева ЗТВ сварных соединений высокопрочных труб.

В третьей главе приведены результаты математического моделирования тепловых процессов при многодуговой сварке ТБД.

В четвертой главе предложена технология автоматической многодуговой сварки под слоем флюса ТБД с пониженным тепловложением и представлены результаты

опытно-промышленного опробования предложенных технических решений.

### **Практическая ценность работы**

Диссертационная работа имеет огромную практическую значимость, которая заключается в том, что разработанные автором рекомендации по химическому составу стали класса прочности К60 (Х70) и режимам многодуговой сварки ТБД были опробованы при производстве опытно-промышленной партии труб типоразмером 1153x30,9 мм для подводного магистрального газопровода по проекту «Nord Stream 2» и позволили не только существенно повысить ударную вязкость продольных сварных соединений труб класса прочности К60, но и обеспечить их стойкость к СКРН. На разработанные технические решения получены патенты на изобретения в соавторстве с АО «ВТЗ» и ОАО «ММК».

Диссертация А.О. Худякова является законченным исследованием, представляет решение актуальных задач, объединенных общим подходом, обеспечивающим достижение нового уровня эксплуатационных свойств толстостенных труб большого диаметра из современных сталей класса прочности К60. Автореферат в достаточной мере отражает основные положения диссертации.

### **Замечания и вопросы по работе**

1. На стр. 27 автор утверждает следующее: *«Микроструктура, которая формируется в процессе охлаждения металла, зависит от закаляемости стали и от диапазона температур, в котором происходит  $\gamma \rightarrow \alpha$  превращение и выделение карбидов. Это зависит от степени легирования такими элементами как марганец, хром, молибден, ванадий, медь и никель.»*. Однако закаляемостью называется способность стали повышать твёрдость в результате закалки и определяется в первую очередь содержанием углерода. Описываемая автором характеристика называется **прокаливаемостью**, под которой принято понимать глубину проникновения закалённой зоны. Именно прокаливаемость увеличивает комплексное легирование хромом, никелем, марганцем и молибденом.
2. На стр. 48 *«Однако чрезмерное легирование металла сварного шва титаном и бором (сочетание 5) приводит к повышению его твердости и снижению вязкопластических свойств.»*. Из таблицы 2.4 следует, что состав 5 имеет самый высокий уровень содержания серы и фосфора – не могло ли именно это привести к значительному снижению вязкопластических свойств? Почему увеличение титана и бора в составе сварных швов приводит к закономерному повышению серы и фосфора? На сколько был прирост твердости при увеличении содержания бора и титана?
3. В выводах к главе 2 автор ограничивает рекомендуемую скорость скоростей охлаждения диапазоном 10-20 °С/с, тогда образец со скоростью охлаждения 30 °С/с показал наилучший результат при испытаниях на статическую трещиностойкость (таблица 2.11)?

Указанные замечания не снижают общей положительной оценки работы и не снижают её научной и практической значимости.

## Заключение

Диссертационная работа Худякова Артема Олеговича на тему: «Повышение эксплуатационных свойств сварных соединений высокопрочных толстостенных прямошовных труб большого диаметра» является завершенной научно-квалификационной работой, в рамках которой проведено большое количество экспериментальных исследований и разработана конечно-элементная модель многодуговой сварки под флюсом, с помощью которой проведен численный расчет тепловых полей и были разработаны режимы многодуговой сварки.

Диссертационная работа Худякова А.О. соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Худяков Артем Олегович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.10 – Сварка, родственные процессы и технологии.

Официальный оппонент,  
Главный специалист (по термообработке)  
АО «ПНТЗ», канд.техн. наук

Лаев Константин Анатольевич

30.11.2010

Лаев Константин Анатольевич, кандидат технических наук, научная специальность 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»,  
Главный специалист (по термообработке) АО «ПНТЗ», 623112, г. Первоуральск,  
ул. Торговая, 1, т. +7 922 227 60 90, [Konstantin.Laev@chelpipegroup.com](mailto:Konstantin.Laev@chelpipegroup.com).

Подпись Лаева Константина Анатольевича заверяю

Начальник отдела по работе  
с персоналом АО «ПНТЗ»



О.А. Дашкевич