

**«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»**

**Заключение диссертационного совета Д ПНИПУ.05.03**

**по диссертации Худякова Артема Олеговича**

**на соискание ученой степени**

**кандидата технических наук**

Диссертация «Повышение эксплуатационных свойств сварных соединений высокопрочных толстостенных прямошовных труб большого диаметра» по специальности 05.02.10 – Сварка, родственные процессы и технологии принята к защите «14» октября 2020 г. (протокол заседания № 3) диссертационным советом Д ПНИПУ.05.03, созданным по приказу ректора Пермского национального исследовательского политехнического университета от «01» октября 2019 г. № 67-О в рамках реализации предоставленных ПНИПУ прав, предусмотренных абзацами вторым – четвертым пункта 3.1 статьи 4 Федерального закона от 23 августа 1996 г. № 127-ФЗ «О науке и государственной научно-технической политике» на основании распоряжения Правительства Российской Федерации от 23 августа 2017 г. № 1792-р.

Диссертация выполнена на кафедре «Технология сварочного производства» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

**Научный руководитель** – доктор технических наук Коробов Юрий Станиславович, работает профессором кафедры «Технология сварочного производства» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

**Официальные оппоненты:**

*Паришин Сергей Георгиевич*, доктор технических наук (05.02.10 – Сварка, родственные процессы и технологии), доцент, профессор Высшей школы физики и технологии материалов Института машиностроения, материалов и транспорта Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации;

*Лаев Константин Анатольевич*, кандидат технических наук (05.16.01 – Металловедение

и термическая обработка металлов и сплавов), главный специалист (по термообработке) Акционерного общества «Первоуральский Новотрубный Завод».

**Ведущая организация:** Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов «Прометей» имени И.В. Горынина Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», г. Санкт-Петербург (отзыв ведущей организации утвержден Ильиным Алексеем Витальевичем, доктором технических наук, доцентом, заместителем генерального директора, заслушан на заседании Научно-технического совета Научно-производственного комплекса 3 «Корпусные стали и наноматериалы» НИЦ «Курчатовский институт» - ЦНИИ КМ «Прометей» и подписан начальником лаборатории сварки конструкционных материалов, кандидатом технических наук Мельниковым Петром Васильевичем, ученым секретарем секции, начальником лаборатории металловедения корпусных сталей, доктором технических наук, профессором Хлусовой Еленой Игоревной, начальником сектора аттестации материалов и обеспечения прочности конструкций, доктором технических наук Филиным Владимиром Юрьевичем).

По теме диссертации соискателем опубликовано 16 научных трудов, в том числе 7 работ – в ведущих рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для опубликования основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени, из них 2 работы – в изданиях, индексируемых в международной базе цитирования Scopus, соискателем получено 3 патента. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем научных трудах. Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Влияние химического состава основного металла на вязкие свойства зоны термического влияния электросварных труб большого диаметра / А.О. Худяков // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия Металлургия. 2014. – Т.14. – №3. – С. 55-61. (ВАК)

*В работе соискателем приведены результаты экспериментальных исследований по влиянию легирующих элементов в основном металле на ударную вязкость участка перегрева зоны термического влияния сварных соединений труб большого диаметра класса прочности К60, К65.*

2. Обеспечение трещиностойкости сварных соединений толстостенных труб большого диаметра класса прочности К60, К65 / А.О. Худяков, П.А. Данилкин // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия Металлургия. 2015. – Т.15. – №1. – С. 96-102. (ВАК)

*В работе соискателем приведены результаты выполненных исследований влияния сформированного типа микроструктуры на участке перегрева зоны термического влияния и в металле сварного шва высокопрочных труб на их вязкопластические*

*свойства. Выполнены рекомендации по легированию основного металла и металла сварного шва труб большого диаметра класса прочности K60.*

3. Освоение производства труб большого диаметра с повышенной деформационной способностью / И.Ю. Пышминцев, А.О. Струин, А.М. Гервасьев, Е.Р. Струина, А.О. Худяков, В.В. Микуров, П.А. Стеканов, А.В. Мозговой // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия Металлургия. 2016. – Т.16. – №1. – С. 82-90. (ВАК)

*В работе соискателем описан опыт производства листового проката и последующего производства труб большого диаметра класса прочности K60 с повышенной деформационной способностью для проекта «Сила Сибири».*

4. Легирование металла продольного сварного шва при производстве высокопрочных труб большого диаметра / А.О. Худяков, П.А. Данилкин, С.И. Ярославцев, М.А. Иванов // Трубопроводный транспорт: теория и практика. 2016. – №1. – С. 43-47. (ВАК)

*В данной работе соискателем представлены результаты исследований по влиянию содержания титана и бора в металле продольного шва труб большого диаметра на его вязкопластические свойства и выполнены рекомендации по сочетаниям сварочных проволок для получения сварных швов с высокой вязкостью.*

5. Худяков А.О. Изучение свариваемости трубной стали группы прочности X65QS в сероводородостойком исполнении / А.О. Худяков, Ю.С. Коробов, П.А. Данилкин // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета "Машиностроение, материаловедение". 2019. – Т. 21. – № 2. – С. 5-14. (ВАК)

*В работе соискателем показаны результаты исследований по влиянию скорости послесварочного охлаждения и сформированного типа микроструктуры на стойкость сварных соединений труб большого диаметра к сульфидному коррозионному растрескиванию под напряжением*

6. Finite element modeling of multiple electrode submerged arc welding of large diameter pipes / A.O. Khudyakov, Yu. Korobov, P.A. Danilkin, V. Kvashnin // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, Vol. 681: 012025, – Tomsk, Russia, 2019. (Scopus)

*В работе соискателем описана разработка математической модели распространения тепла при многодуговой сварке труб большого с ее численным решением в программном комплексе Sysweld.*

7. Providing resistance to sulfide stress corrosion cracking of pipelines welded joints by selection of welding parameters / A.O. Khudyakov, P.A. Danilkin // E3S Web of Conferences – corrosion in oil & gas industry 2019, Vol. 121: 04005 – Saint Petersburg, Russia, 2019. (Scopus)

*В данной работе соискателем приведены результаты компьютерного моделирования распространения тепла при заводской и монтажной сварке труб большого диаметра и*

*выполнен анализ полученных результатов, на основании которых установлен целевой диапазон скоростей охлаждения на участке перегрева зоны термического влияния, в котором обеспечивается стойкость к сульфидному коррозионному растрескиванию под напряжением сварных соединений.*

8. Пат. RU 2612109 С2 Российская Федерация, МПК. Стальной лист и его применение для трубы магистрального трубопровода / Пумпянский Д.А., Рашников В.Ф., Пышминцев И.Ю., Трутнев Н.В., Щуров Г.В., Струин А.О., Гервасьев А.М., Худяков А.О. - опубл. 02.03.2017 Бюл. № 7.

*В работе описан способ производства листового проката для труб большого диаметра и приведены рекомендации по химическому составу. Вклад соискателя заключается в разработке требований к химическому составу стали листового проката.*

9. Пат. RU 2640685 С1 Российская Федерация, МПК. Способ изготовления стального листа для труб с повышенной деформационной способностью / Пумпянский Д.А., Рашников В.Ф., Пышминцев И.Ю., Трутнев Н.В., Щуров Г.В., Струин А.О., Гервасьев А.М., Худяков А.О. - опубл. 11.01.2018 Бюл. № 2.

*В работе описан способ производства листового проката для труб большого диаметра с повышенной деформационной способностью. Вклад соискателя заключается в разработке требований к химическому составу стали и отработке режимов контролируемой прокатки.*

10. Пат. RU 2656189 С1 Российская Федерация, МПК. Труба с повышенной деформационной способностью и высокой вязкостью сварного соединения и способ ее изготовления / Пумпянский Д.А., Рашников В.Ф., Пышминцев И.Ю., Трутнев Н.В., Щуров Г.В., Струин А.О., Гервасьев А.М., Худяков А.О. - опубл. 31.05.2018 Бюл. № 16.

*В работе описан способ производства труб большого диаметра с повышенной деформационной способностью и высокими вязкопластическими свойствами сварного соединения. Вклад соискателя заключается в формулировании требований к микроструктуре сварных соединений и отработке режимов сварки.*

**Диссертационный совет отмечает**, что на основании выполненных соискателем исследований:

**разработан** комплексный подход к обеспечению требуемых свойств сварных соединений высокопрочных прямошовных труб большого диаметра, на основе повышения свариваемости основного металла, за счет рационального содержания легирующих элементов, выбора сварочных материалов и разработки режимов сварки с пониженной погонной энергией;

**предложены** технические и технологические решения (снижение содержания кремния, молибдена и ванадия в основном металле, рациональное легирование металла шва титаном и бором за счет применения на двух-трех дугах сварочных проволок S3MoTiB

(S3TiB), выполнение сварки продольного сварного шва с применением сварочной проволоки диаметром 2,4 мм на первой дуге), позволившие достичь нового уровня эксплуатационных свойств толстостенных прямошовных труб большого диаметра из современных сталей класса прочности К60 за счет улучшения микроструктуры и повышения вязкопластических свойств сварных соединений;

**доказано**, что для обеспечения высоких вязкопластических свойств сварных соединений высокопрочных труб большого диаметра необходимо обеспечивать скорость охлаждения на участке перегрева зоны термического влияния при сварке продольного шва выше 10 °С/с, а для достижения скорости охлаждения в целевом диапазоне необходимо уменьшать суммарную погонную энергию сварки на 15-30%.

**Теоретическая значимость исследования** обоснована тем, что:

**выявлено** негативное влияние кремния, молибдена и ванадия на вязкопластические свойства участка перегрева зоны термического влияния сварных соединений высокопрочных труб большого диаметра из сталей, легированных ниобием;

**предложена** математическая модель распространения тепла при многодуговой сварке, отличающаяся трехмерным распределением тепловых полей и позволяющая определять геометрические параметры сварного шва и скорости охлаждения в различных точках зоны термического влияния с высокой точностью, в том числе в условиях автоматической многодуговой сварки под флюсом;

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) **использован** комплекс существующих базовых методов исследования, в том числе направленные на изучение влияния термических циклов сварки на структуру и свойства сварных соединений, методы компьютерного моделирования многодуговой сварки и верификации по экспериментальным данным;

**раскрыты** причины снижения эксплуатационных свойств сварных соединений толстостенных высокопрочных труб большого диаметра, что позволило предложить технические и технологические решения обеспечения требуемых эксплуатационных характеристик сварных соединений;

**изучено** влияние термических циклов сварки на формирование микроструктуры на участке перегрева зоны термического влияния и изменение вязкопластических свойств сварных соединений высокопрочных труб большого диаметра. Высокие вязкопластические свойства обеспечиваются при скоростях охлаждения 10-20 °С/с и формировании нижнего бейнита игольчатой и речной морфологии на участке перегрева зоны термического влияния.

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

**разработаны и внедрены** в серийное производство (АО «Волжский трубный завод»),

г. Волжский) рекомендации по химическому составу основного металла труб, опробованы режимы сварки труб типоразмером 1153x30,9 мм с уменьшенной на 30% погонной энергией;

**определено** что, разработанная технология многодуговой сварки труб большого диаметра позволяет достичь скорости охлаждения на участке перегрева зоны термического влияния в целевом диапазоне 10-20 °С/с и обеспечить вязкопластические свойства сварных соединений труб на требуемом уровне;

**создана** методика расчета режимов многодуговой сварки, обеспечивающая необходимое качество и надежность сварных соединений высокопрочных труб большого диаметра.

**Оценка достоверности результатов исследования** выявила, что:

**результаты** механических испытаний и металлографических исследований **получены** на сертифицированном и поверенном оборудовании, результаты расчетов скоростей охлаждения получены с помощью лицензионного программного обеспечения;

**теория** построена на известных данных о распространении тепла в твердом теле и согласуется с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации;

**идея базируется** на анализе существующих современных методов повышения вязкопластических свойств сварных соединений высокопрочных труб большого диаметра;

**использованы** проверенные и общепризнанные положения и закономерности, современные методы сбора и статистической обработки экспериментально полученных данных;

**установлено**, что результаты исследований не противоречат известным результатам других ученых.

**Личный вклад соискателя** состоит в том, что: предложен способ снижения суммарной погонной энергии многодуговой сварки под флюсом; разработана трехмерная математическая модель распространения тепла при многодуговой сварке под флюсом; выполнены экспериментальные исследования влияния легирующих элементов основного металла и металла шва на вязкопластические свойства сварных соединений прямошовных труб, исследования влияния термических циклов сварки на структуру и свойства сварных соединений труб класса прочности К60; проведена опытно-промышленная апробация разработанных технологических рекомендаций.

**Диссертационный совет пришел к выводу** о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, и Порядком присуждения ученых степеней в ПНИПУ, утвержденным приказом ректора ПНИПУ от 09 января 2018 г. № 1-О: в ней изложены и научно-обоснованы технические

и технологические решения в области повышения эксплуатационных свойств толстостенных прямошовных труб большого диаметра за счет рационального легирования основного металла и металла шва и улучшения вязкопластических свойств рассматриваемых неразъемных соединений, которые имеют существенное значение для развития сварочных технологий в производстве труб различного назначения, в том числе для нефтехимической промышленности.

На заседании «17» декабря 2020 г. диссертационный совет Д ПНИПУ.05.03 принял решение присудить **Худякову Артему Олеговичу** ученую степень *кандидата технических наук* (протокол заседания № 4).

При проведении открытого голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 7 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 7 человек, входящих в состав совета, проголосовал: за присуждение ученой степени – 16, против присуждения ученой степени – 0, воздержавшиеся – 0.

Председатель диссертационного совета Д ПНИПУ.05.03.

д-р техн. наук, профессор \_\_\_\_\_ / Щицын Юрий Дмитриевич /

Ученый секретарь диссертационного совета Д ПНИПУ.05.03.

канд. техн. наук, доцент \_\_\_\_\_ / Федосеева Елена Михайловна /

«22» декабря 2020 г.

