

## **АННОТАЦИЯ**

диссертационной работы на тему:

### **«ОПТИМИЗАЦИЯ ФАЗОВОГО СОСТАВА И СТРУКТУРЫ СТАЛИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА НЕФТЕГАЗОПРОВОДНЫХ ТРУБ»**,

представленной на соискание степени доктора философии PhD  
по специальности 6D071000 – «Материаловедение и технология новых  
материалов»

**АХМЕТОВОЙ ГУЛЬЖАЙНАТ ЕСЕНЖОЛОВНЫ**

#### **Оценка современного состояния решаемой научно-технологической проблемы (задачи)**

В настоящее время, в сфере нефтегазодобычи наблюдается тенденция ужесточения режимов эксплуатации скважинного оборудования, в том числе и трубных колонн, и значительное увеличение объемов работ, требующих проведения спускоподъемных операций. Это связано с освоением все более отдаленных месторождений газа и нефти, расположенных на территории с неблагоприятным, зачастую суровым климатом. В силу чего, возникает острая необходимость в повышении требований к качеству металла труб.

Наиболее распространенными причинами аварий черных (без покрытия) насосно-компрессорных (НКТ) и обсадных труб являются коррозия, износ резьбы и усталостные разрушения. По данным промысловой статистики, количество аварий с НКТ в ряде случаев достигает 80 % от общего числа аварий скважинного оборудования, при этом подавляющее большинство разрушений происходит по резьбовым соединениям. Согласно результатам квалитетического анализа эксплуатационной надежности НКТ, проведенного российскими специалистами на месторождениях Западной Сибири, Оренбургской, Самарской областей, доминирующими (порядка 50 %) являются отказы, связанные с резьбовым соединением (разрушение, потеря герметичности и др.). По данным Американского нефтяного института (API), по причине разрушения резьбовых соединений количество аварий НКТ составляет 55 %.

Трубопрокатная продукция производителей Казахстана (на примере ТОО «KSPSteel», выпускающего бесшовные трубы для нефти и газа) столкнулась с проблемой необходимости совершенствования технологии по улучшению качества соединений труб. При испытании труб было выявлено, что некоторые трубы способны выдерживать до 20-ти кратных погружений и подъемов при эксплуатации, а определенные партии труб не выдерживают повторных погружений, так как происходит срыв резьбовых соединений.

В современных условиях трубные компании систематически проводят работу, направленную на повышение качества производства бурильных, обсадных и насосно-компрессорных труб. Часть нефтяных компаний (например, ОАО «АК «Транснефть») при реализации проектов строительства нефтепроводов закладывает технические требования к качеству металла и отводов на более высоком уровне, чем требования всех известных международных стандартов. Введен контроль качества металла по

полосчатости структуры, размеру зерна, загрязнению металла неметаллическими включениями, ударной вязкости на образцах с острым надрезом при температуре  $-40^{\circ}\text{C}$ . Подобные требования направлены на повышение качества металла, идущего на изготовление труб. То есть существует острая необходимость разработки методики или программ для автоматизированного выполнения необходимых операций контроля параметров неоднородности структуры сталей.

Систематически проводится работа, направленная на повышение качества производства обсадных и насосно-компрессорных труб. ОАО ТМК (лидер на рынке производства и сбыта труб нефтегазового сортамента) создало специальное подразделение ООО «ТМК-Премиум Сервис», которое занимается разработкой новых конструкций резьбовых соединений премиум-класса.

ОАО «Газпром» уделяет большое внимание освоению производства обсадных труб из высокопрочных коррозионностойких сталей. ОАО «Роснефть» применяет обсадные трубы с резьбовыми соединениями, позволяющими передавать увеличенные нагрузки при спуске колонн с вращением (соединения типа VAM TOR). ОАО «Лукойл» считает, что для скважин в сложных геологических условиях требуется применение термически обработанных, стойких к углекислотному и сульфидному видам коррозии труб из стали, легированной хромом, молибденом, ниобием и другими элементами.

Что касается разработки и внедрения защитных покрытий труб, то здесь можно выделить работы таких ученых и производителей, как Чижов И.А., Пачколина П.А., Проскуркин Е.В., Большаков В.И., Дергач Т.А., Петров И.В., Дмитриев В.Б. Учеными ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. Б.Н. Ельцина» были проведены исследования защитных покрытий, как одного из перспективных направлений увеличения срока службы резьбового соединения «труба-муфта», изучены эксплуатационные свойства покрытий на трубных сталях 45, 30Г2, 37Г2Ф и 37Г2С разных групп прочности.

Таким образом, в направлении повышения качества нефтегазовых труб занимаются ученые и производители. Лидером по производству, внедрению новых технологий в производство труб нефтегазового сортамента и продажам труб являются ОАО ТМК, ЦНИИчермет, Газпром и др. Среди современных основных ученых, тесно занимающихся вопросом повышения качества труб нефтегазового сортамента, можно выделить Выбойщик М.А., Иоффе А.В., Кудря А.В. (научный консультант), Матросова М.Ю., Филиппова Г.А., Пышминцева И.Ю., ученых Уральского федерального университета имени первого Президента России, НИТУ «МИСиС».

В настоящей диссертационной работе впервые ставится задача количественной оценки неоднородности и качества структур труб нефтегазового сортамента. Проблемы контроля качества трубной продукции на всех этапах методами информационных технологий занимается группа материаловедов под руководством д.т.н., проф. Кудря

А.В. (МИСиС). В производственных условиях используется только метод производственных карт, который не предусматривает конкретных измерений структурных параметров. Имеются также только классические ГОСТы, рассчитанные на отдельные формы замеров.

В свете вышеуказанного, возникает острая необходимость разработки методики или программ для автоматизированного выполнения необходимых операций контроля неоднородности трубной стали: замера полосчатости структуры, размера зерна, загрязненности стали неметаллическими включениями.

**Основание и исходные данные для разработки темы.** В современных условиях производства упрочнение нефтегазопроводных труб, повышение их эксплуатационных свойств и обеспечение гарантий качества труб нефтяного сортамента, в основном, достигаются за счет применения следующих способов: разработки новых и совершенствования известных трубных марок стали; применения новых легирующих, микролегирующих и модифицирующих элементов, добавок, таких как ниобий, бор, титан, молибден, ванадий и др.; разработки новых видов соединений труб; внедрения участков внутреннего гладкостного и наружного полиэтиленового покрытия; применения дополнительных операций: фосфатирования муфтовых соединений, покрытия труб полимерным изоляционным, стеклоэмалевым покрытием, потивокоррозионным защитным лаком; разработки таких защитных покрытий как цинкование гальваническое, термодиффузионное, горячее, диффузионное железо-цинковое и т.п.

Существенным недостатком всех вышеуказанных способов является их достаточно высокая стоимость или недолговечность полученных результатов. Тогда как в настоящее время большое значение приобретает задача сокращения объемов потребления электроэнергии и рационального использования дорогих и дефицитных легирующих элементов без снижения уровня технологических и механических характеристик конечной продукции.

В связи с этим, одним из эффективных и перспективных путей решения проблемы упрочнения трубных сталей, на наш взгляд, является оптимизация фазового состава и структуры стали для производства труб нефтегазового сортамента, отвечающих современным требованиям по качеству. Правильный выбор оптимального фазового состава и структуры стали не только отвечает определенным требованиям к качеству труб нефтегазового сортамента, но и обеспечивает регулирование и возможное исключение промахов и отклонений по структуре и свойствам, приводящих к отсортировке и браку отдельных партий труб.

**Актуальность темы.** В связи с ужесточением условий работы труб нефтегазового сортамента, все чаще наблюдается выход из строя насосно-компрессорных и обсадных труб или их соединений. По этой причине нефтедобывающие предприятия ужесточают технические требования к качеству труб и стали и устанавливают их на более высоком уровне, чем требования всех международных стандартов. Вводится контроль стали по показателю полосчатости структуры, размеру зерна, загрязнению стали

неметаллическими включениями, ударной вязкости. Данные требования направлены на повышение срока службы и эксплуатационной надежности труб и их соединений.

В ходе проведенного исследования выявлено, что существуют разрозненные дорогостоящие программы и методики, позволяющие выполнять ряд трудоемких металлографических задач, например, описанных в ГОСТ 5639-82 «Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна: метод определения величины зерна сравнением с эталонными шкалами; метод подсчета зерен; методы подсчета пересечений границ зерен; метод измерения длин хорд», ГОСТ 1778-70 «Сталь. Металлографические методы определения неметаллических включений» и ГОСТ Р 54570-2011 «Сталь. Методы оценки степени полосчатости или ориентации микроструктур». Для данных методик характерна не только трудоемкость, но и определенная субъективная составляющая.

В то же время существует огромное количество компьютерных программ, позволяющих автоматизировано выполнять вычислительные и графические операции по обработке массивов данных и изображений в различных областях науки и техники. Учеными в сфере математики и программирования разработаны перспективные теория и техника математической и бинарной морфологии, которые нашли свое применение в ограниченных областях, куда не входит область материаловедения. Априори было бы перспективно использование такого подхода для решения количественных материаловедческих задач.

В настоящее время отсутствует единая универсальная методика контроля структуры стали не только по неметаллическим включениям и размеру зерна, но и по определению анизотропии и строчечности структуры, размеров и количества конкретной структурной составляющей (упрочняющей или разупрочняющей), ее доли и плотности распределения, которые, в целом, определяют механические характеристики готовой продукции. Разработка подобной компьютерной методики позволила бы решить проблему оптимизации фазового состава и структуры стали для производства труб с гарантируемым комплексом механических свойств.

В связи с этим, диссертационная работа посвящена разработке современных эффективных компьютерных методик, направленных на определение качественных показателей и оптимизацию фазового состава и структуры стали для производства нефтегазопроводных труб с требуемым комплексом свойств.

#### **Цели работы:**

- разработка новых компьютеризированных процедур (программ), направленных на определение и регулирование структурной неоднородности трубных сталей;
- установление взаимосвязи количественных параметров неоднородности структуры с комплексом механических свойств;

– разработка научных основ оптимизации фазового состава и структуры стали для производства труб нефтегазового сортамента с высокими качественными показателями.

**Объектами исследования** являются образцы традиционных трубных марок стали и изображения их структур.

**Предметом исследования** является методика количественного описания структур с использованием современных компьютерных программ.

**Задачи исследования, их место в выполнении научно-исследовательской работы в целом**

– разработать методику оптимизации фазового состава и структуры стали, как инструмента регулирования, контроля качества металла труб нефтегазового сортамента;

– разработать универсальную методику количественной оценки не только структур сталей, а также, определения анизотропии и показателя полосчатости и загрязненности металла труб неметаллическими включениями для контроля качества нефтегазопроводных труб;

– теоретическое и практическое обоснование возможностей и перспективы разрабатываемой методики количественной оценки структур;

– развить отечественные компьютерные (технологии) процедуры – технику цифровой регистрации и описания изображений структур для прогноза механических свойств стали по структуре с целью повышения их эксплуатационных параметров и ресурсов;

– исследовать изменение структуры стали в зависимости от выбора марки стали и изменения технологии производства труб с применением компьютеризированных средств наблюдения и измерения структур, основанных на фундаментально обоснованных алгоритмах описания их неоднородности;

– определить оптимальный фазовый состав и структуру стали для производства обсадных и насосно-компрессорных труб посредством сравнения ряда марок стали, применяемых для производства вышеуказанных труб;

– определить оптимальную структуру трубной стали, соответствующую требованиям к качеству готового изделия;

– исследовать влияние электролитно-плазменной обработки на структуру и свойства трубной стали.

**Научная новизна** диссертационной работы:

– предложен алгоритм цифровой обработки изображений применительно к структурам трубных сталей (и других материалов);

– разработаны программный продукт и методика количественной оценки структур сталей с помощью компьютеризированных процедур;

– предложена методика определения оптимального фазового состава и структуры стали для производства бесшовных НКТ и обсадных труб, удовлетворяющих современным требованиям;

– разработанные в диссертации автоматизированные методы количественной обработки изображений структур трубных сталей

универсальны и позволяют заменить классические стандартные металлографические методы, отличающиеся трудоемкостью;

– впервые опробована методика электролитно-плазменной обработки для упрочнения трубной марки стали, исследовано влияние ЭПО на структуру и твердость.

#### **Положения, выносимые на защиту**

Выдвигаемые гипотезы:

– установлена взаимосвязь неоднородности и количественных параметров структуры стали (геометрии, количества, размеров и объемной доли структурных составляющих) с механическими свойствами;

– конечный комплекс свойств и эксплуатационная надежность труб нефтегазового сортамента определяются фазовым составом и структурой стали, зависящими от химического состава, обработки стали и количественных показателей неоднородности структуры;

– управление структурообразованием (методом оптимизации фазового состава и структуры стали) является инструментом регулирования и контроля качества металла нефтегазопроводных труб, исключая промахи и выпадения по качеству готовой продукции.

На основе выдвинутых гипотез разработаны положения, выносимые на защиту:

– новые компьютерные программы цифровой регистрации и описания изображений структур металлических материалов;

– универсальный метод количественной оценки структурных составляющих стали, определения анизотропии, показателя полосчатости, степени загрязненности стали неметаллическими включениями с использованием компьютерных технологий;

– новые компьютерные программы для оптимизации и управления фазовым составом и структурой, а также оценки качества трубных марок сталей 35Г2, 40Г, 30, 32Г2С, 38ХНМ;

– результаты исследования влияния электролитно-плазменной обработки на фазовый состав, структуру и свойства трубной стали 40Г.

#### **Практическая значимость работы**

Показана универсальность разработанных и применяемых в работе компьютерных технологий (процедур) и возможность использования компьютеризированных процедур количественной и качественной обработки изображений структур трубных сталей в целях оптимизации фазового состава, структуры и улучшения качества нефтегазовых труб. Исследовано влияние электролитно-плазменной обработки на структуру и свойства трубной стали.

Результаты исследований и разработки, описанные в диссертации, рекомендованы к внедрению в трубное производство, а также имеют большую перспективу в целях управления, регулирования и контроля качества готовой продукции.

**Публикации и апробация работы.** По теме диссертации опубликовано 10 научных статей, в том числе с импакт-фактором – 2.

Основные положения и результаты исследований доложены и обсуждены на: I Международной научно-практической конференции «Технология машиностроения и материаловедение» (Россия, Новокузнецк, 2017); Международной научно-практической конференции «Интеграция науки, образования и производства – основа реализации Плана нации» (Сагиновские чтения №9) КарГТУ (Казахстан, Караганда, 2017); XI Международной научно-практической конференции «INTERNATIONAL INNOVATION RESEARCH» МЦНС (Россия, Пенза); IX-й Евразийской научно-практической конференции «Прочность неоднородных структур» ПРОСТ 2018 НИТУ «МИСиС» (Россия, Москва, 2018), доклад по теме диссертации удостоен Диплома и золотой медали.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, 5 разделов, заключения, списка использованной литературы. Основной текст работы изложен на 134 страницах машинописного текста, содержит 64 рисунка, 22 таблицы, список использованной литературы состоит из 153 наименований.