

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию МУСАЕВА Салиха Джабраиловича «Совершенствование количественных методов исследования и испытания материала магистральных трубопроводов из стали марки х70», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

Диссертация Мусаева С.Д. имеет методический характер и посвящена разработке количественных методов исследования и испытания материала магистральных газопроводов (МГ) из стали х70, продление сроков безаварийного использования которых требует выявления дополнительных структурных характеристик, контролирующих поведение трубопроводов в условиях эксплуатации. **Целью работы** являлось повышение надежности эксплуатации МГ за счет совершенствования количественных методов оценки влияния структурных факторов и коррозионной среды на закономерности роста усталостной трещины в стали марки х70.

### **Актуальность диссертационной работы**

Задача увеличения срока безаварийной эксплуатации труб МГ является чрезвычайно актуальной в странах, имеющих протяженную систему МГ и, особенно, в России, отличающейся многообразием условий эксплуатации. На настоящий момент установлено, что зарождение и развитие трещин зависит от совместного влияния трех факторов: склонности материала труб к коррозионному растрескиванию под напряжением (КРН), наличия локальных растягивающих напряжений и действия коррозионной среды. Однако механизмы, отвечающие за рост или торможение трещин, недостаточно изучены. Действующие требования государственных стандартов не допускают возможности эксплуатации труб с повреждениями КРН вне зависимости от их размеров, стадии развития и остаточной прочности труб. Поврежденные трубы вырезаются для последующего ремонта методами шлифовки или наплавки, что приводит к увеличению трудозатрат на капитальный ремонт МГ. В первую очередь это связано с отсутствием критериев классификации повреждений КРН труб по степени опасности и научно-обоснованных методов обеспечения длительной работоспособности труб со стресс-коррозионными повреждениями.

Эксплуатация труб большого диаметра включает воздействие разнообразных механических и физико-химических воздействий, включающих статические и циклические нагрузки, пониженные температуры и коррозионные среды, что требует сочетания различных служебных свойств, обеспечить которые можно

только при оптимальном сочетании химического состава и структурно-фазового состояния, которое определяется жестким соблюдением технологических режимов. В этой связи на всех этапах технологической процедуры получения трубных заготовок и эксплуатации магистральных труб важную роль играют методы контроля технологических и структурных параметров, а также ресурсных характеристик, включая оценку остаточного ресурса с использованием методов неразрушающего контроля и результатов механических испытаний.

Как показывает ряд экспериментов, структурным параметром труб МГ, в значительной мере контролирующим их поведение в условиях эксплуатации, оказывается кристаллографическая текстура труб. Однако, механизмы ее влияния на поведение труб МГ, до настоящего времени остаются слабо исследованными. Актуальность рецензируемой диссертации заключается, в частности, в том, что ее автор при разработке методов исследования и испытания материалов МГ развивает подходы, базирующиеся на рассмотрении текстурных аспектов структуры труб, включающих оценку технологической истории материала и анализ анизотропии их механических свойств. Важность этого направления исследований обусловлена тем, что текстура, являясь структурной характеристикой, наиболее чувствительной к технологии производства труб, позволяет в то же время количественно оценивать ее собственный вклад в анизотропию свойств трубы.

### **Научная новизна и практическая значимость работы**

Наиболее перспективным результатом работы Мусаева С.Д. представляется введение критерия, названного автором текстурным и учитывающего характер преимущественной ориентации зерен трубной заготовки на любых стадиях ее получения и последующей эксплуатации. Позволяя оценивать температуру финишной прокатки трубной заготовки, в перспективе текстурный критерий при наличии физически приемлемой модели будет определять ресурсные характеристики труб. В работе продемонстрирована также возможность использования анизотропного критерия Хилла совместно с количественными текстурными данными для оценки прочности трубы при двухосном напряженном состоянии, которое соответствует работе труб в реальных условиях внутреннего давления.

Диссертантом разработана комплексная методика испытания материала труб, позволяющая оценить воздействие на их работоспособность коррозионной среды в условиях статической и циклической нагрузок. Методика включает



испытание полноразмерных образцов в коррозионной среде с измерением кинетики распространения усталостных трещин на воздухе. Используемая в методике схема предусматривает статическое нагружение натурных образцов при нагрузке  $0,8 \sigma_{0,2}$  в коррозионной среде, а при циклическом нагружении после каждых  $60 \cdot 10^3$  циклов образец возвращается на разработанный испытательный стенд под действие статической нагрузки. На основании экспериментально измеренного времени до разрушения при усталостных испытаниях эта методика позволяет оценивать остаточный ресурс труб МГ в конкретных условиях их эксплуатации как для материала новых труб, так и труб, отработавших известное время в данных условиях. На основании предложенного методологического подхода можно проводить сравнительные испытания различных марок сталей и способов их обработки для магистральных труб с обеспечением объективного критерия оценки работоспособности материалов в разных условиях силового и коррозионного воздействий.

И научной новизной, и существенной практической значимостью характеризуется ряд конкретных результатов, полученных диссертантом в ходе применения разработанной им комплексной методики испытаний. В частности, это относится к экспериментальному выявлению влияния коррозионной среды на скорость роста усталостной трещины в материале магистральной трубы, которое состоит к деградации металла в вершине трещины на расстоянии, увеличивающемся по мере продолжительности коррозионного воздействия. Прохождение трещиной области воздействия коррозионной среды сопровождается повышением скорости ее роста, резко снижающейся после прохождения трещиной этой области. Практическую значимость имеет введение корректирующих коэффициентов в расчетах остаточного ресурса магистральных труб на основе результатов усталостных испытаний труб, побывавших в эксплуатации в конкретных условиях, включающих климатические условия, наличие коррозионной среды, наличие коррозионной защиты.

Важным результатом диссертационной работы Мусаева С.Д. является установление того факта, что работоспособность МГ под действием статических и циклических нагрузок в коррозионной среде сохраняется до тех пор, пока глубина трещины не превысит 20% толщины стенки, так что критическая глубина трещины для трубы толщиной 16,8 мм составляет 3,5 мм.

## **Достоверность результатов работы**

Все основные научные выводы и рекомендации получены с использованием расчетных методов оценки параметров анизотропии упругих и прочностных свойств на основе количественных текстурных данных, полученных из усовершенствованного метода обратных полюсных фигур. При этом при расчетах были использованы оригинальные программные продукты, прошедшие государственную регистрацию.

Обоснованность установленных в работе закономерностей не вызывает сомнений, поскольку автором тщательно и на современном методическом уровне определены закономерности кинетики роста усталостной трещины на полноразмерных образцах, обеспечивающие адекватность испытываемого материала реальным условиям эксплуатации труб, что подтверждается двумя патентами на изобретение и полезную модель. Экспериментальные результаты, полученные разными методами, хорошо коррелируют друг с другом и не противоречат современным представлениям металловедения. Основные результаты диссертационной работы можно признать достоверными, а выводы обоснованными.

## **Замечания по диссертации Мусаева С.Д.**

1. Нельзя согласиться с выводом диссертанта о том, что анизотропия ударной вязкости трубных заготовок не зависит от их кристаллографической текстуры, поскольку этот вывод основывается на предположении о полностью хрупком разрушении заготовки при ее испытании на ударную вязкость согласно критерию Гриффитса в его первоначальной форме, хотя такое предположение заведомо не соответствует действительности. Разрушение материала трубы при ее испытании на ударную вязкость при комнатной температуре описывается модифицированным критерием Гриффитса, учитывающим определенный вклад пластической деформации в поведение трещины, и входящая в этот критерий работа пластической деформации зависит от направления движения транскристаллитной трещины.

2. Хотя основной новацией в рассмотрении диссертантом поведения труб МГ оказывается учет их кристаллографической текстуры и текстурной неоднородности, в работе отсутствует какая-либо внятная модель, поясняющая роль текстуры в формировании свойств трубы. Исключением является эффект, названный автором «текстурным охрупчиванием» и состоящий в



преимущественном расслоении стальных листов по плоскостям  $\{001\}$ . При этом остается неясным, откуда автор почерпнул информацию о плоскостях преимущественного расслоения листов.

3. Говоря о послойной текстурной неоднородности стальных листов, диссертант практически не рассматривает ее причины. Располагая рентгеновскими методами контроля кристаллографической текстуры, он ими почти не пользуется, приводя свидетельство послойной текстурной неоднородности листов только на одном рисунке (рис. 4.22 на стр. 132 диссертации).

4. Следует отметить, что некоторые специальные термины в тексте диссертации вводятся без должных уточняющих пояснений. Это относится, в частности, к терминам «текстурное упрочнение» и «текстурное разупрочнение» (стр. 159), которые автор интерпретирует как повышение или снижение предела текучести материала при наличии в нем кристаллографической текстуры. Между тем, обычная трактовка этих терминов подразумевает, что в процессе текстуробразования зерна материала переориентируются таким образом, что факторы Шмида для действующих в них систем скольжения повышаются или снижаются.

5. Методика испытания образцов циклическим нагружением требует уточнения. Не ясно с чем связан выбранный интервал нагружений по  $60 \cdot 10^3$  циклов.

Сделанные замечания не снижают научный уровень работы, относясь к дискуссионным вопросам интерпретации текстурных эффектов, и свидетельствуют о профессиональном овладении диссертантом этими вопросами.

### **Заключение**

Диссертация Мусаева Салиха Джабраиловича является законченной научной квалификационной работой, в которой изложены новые научно-обоснованные технические решения и разработки, направленные на повышение надежности магистральных трубопроводов за счет совершенствования количественных текстурных критериев контроля технологии и анизотропии механических свойств, а также методов оценки влияния коррозионной среды на кинетику роста усталостной трещины.

Автореферат и опубликованные работы отражают основное содержание диссертации.

По научному уровню, по новизне и практической значимости полученных результатов, по объему и оформлению представленная диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям п.п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденном Постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор, Мусаев Салих Джабраилович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Профессор, доктор физ.-мат. наук



Ю.А. Перлович

Подпись Перловича Ю.А. удостоверяю,

Перлович Юрий Анатольевич, профессор, доктор физ.-мат. наук, *ведущий научный сотрудник* кафедры «Физические проблемы материаловедения» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Москва, 115409, Каширское ш., 31

[yuperl@mail.ru](mailto:yuperl@mail.ru); 8(916)9591212

Подпись удостоверяю  
Заместитель начальника отдела  
документационного обеспечения  
НИЯУ МИФИ



04.06.2018

*Машкина Татьяна Сергеевна*