

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу **Мишетьян Анны Рубеновны**

«Особенности механизмов разрушения и деформационного старения в зависимости от структурного состояния низколегированных трубных сталей».

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1. – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

Актуальность темы диссертационной работы

Снабжение объектов потребления углеводородным сырьем обеспечивается эффективным функционированием системы магистральных трубопроводов. Высокая производительность трубопроводного транспорта обусловлена повышенным уровнем рабочих давлений, что требует использования в качестве материала для труб высокопрочной стали, обеспечивающей эксплуатационную надежность трубопровода. В основе обеспечения необходимого уровня надежности лежит способность сопротивляться разрушению, в т.ч. распространению протяженных хрупких трещин.

Современные стали для производства труб, в целом, соответствуют комплексу предъявляемых требований по уровню прочности, вязкости, хладостойкости, однако в связи с непрерывностью и интенсивностью нагрузок, которые испытывает трубопровод при эксплуатации, появляется опасность его преждевременного разрушения, связанная, в том числе, с развитием деформационного старения трубной стали. Явление деформационного старения как железа, так и стали исследовано всесторонне, с точки зрения взаимодействия атомов внедрения с дислокациями. Однако склонность к деформационному старению, в зависимости от структурного состояния стали, изучена недостаточно. Это обстоятельство и определило актуальность данной диссертационной работы.

Общая характеристика работы

Диссертация изложена на 145 страницах, состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы из 137 источников, включая 62 рисунка и 16 таблиц.

Объектом исследования послужил листовой прокат промышленного производства из низколегированных трубных сталей различных классов прочности (К52 – К65), а также трубы класса прочности К60.

Предметом исследования явились механизмы разрушения и деформационного старения, обусловленного типом структур низкоуглеродистых низколегированных трубных сталей.

Достоверность и обоснованность основных научных положений, результатов, выводов и рекомендаций работы подтверждается использованием современных методов изучения структурного состояния (оптическая металлография с применением компьютерного анализа изображений, просвечивающая и сканирующая электронная микроскопия, рентгеноструктурный анализ, измерение внутреннего трения, оценка релаксационного эффекта, активационного объема); стандартных и специальных свойств сталей. Объем исследований достаточен для анализа полученных результатов и формирования заключительных положений.

Оценка содержания автореферата, оформления и апробации диссертационной работы. Содержание автореферата в полной мере отражает основные результаты, полученные в диссертационной работе. Работа написана на хорошем научно-техническом уровне, оформление текста автореферата и диссертации в целом соответствует предъявляемым требованиям. Материал диссертации опубликован в 37 печатных работах, в том числе в 9 изданиях, входящих в перечень ВАК. Результаты диссертационной работы прошли апробацию на 23 отечественных и международных научно-технических конференциях.

Научная новизна и практическая значимость работы

Научная новизна

На основе оценки релаксационного эффекта предложен механизм, объясняющий различную хладостойкость низколегированных трубных сталей в зависимости от типа, дисперсности и однородности структуры.

В стали с бейнитной структурой, как более склонной к деформационному старению по сравнению с феррито-перлитной, уже при степени деформации 2 % снижается способность к деформационному упрочнению, что резко ухудшает эксплуатационную надежность трубной конструкции. Исследована природа этого явления, в основе которой лежит мартенситное превращение участков остаточного аустенита (локальный TRIP-эффект), полное исчерпание которых наблюдается при степени деформации 3%.

При исследовании скоростной зависимости предела текучести выявлено, что в результате деформационного старения помимо повышения предела текучести, связанного с закреплением дислокаций атмосферами примесных атомов, также наблюдается затруднение термоактивированного скольжения (что наиболее заметно для бейнитной структуры) вследствие уменьшения активационного объема и

снижения скорости дислокаций, что негативно влияет на сопротивление разрушению сталей.

Практическая значимость Предложены подходы к изготовлению отводов холодного гнущего для труб К60 магистральных газопроводов, предназначенных для эксплуатации в зонах активных тектонических разломов (АТР): предельная степень деформации, при которой сохраняется деформационная способность труб, не должна превышать 5 %.

Полученные в работе результаты, могут быть использованы при диагностике текущего состояния материала, для анализа разрушений трубопроводов и других конструкций из низкоуглеродистых низколегированных сталей.

Анализ работы по разделам

Введение содержит обоснование актуальности работы, описание цели, задач, объекта, предмета исследования; включает научную новизну, теоретическую и практическую значимость работы, методологию и методы исследования.

В первой главе представлен литературный обзор источников, посвященных проблеме эксплуатационной надежности трубных конструкций, приведены требования, предъявляемые к трубным сталям по уровню стандартных механических и специальных свойств в зависимости от условий использования труб. Основной критерий обеспечения надежности и безопасности эксплуатации трубопровода – сохранение показателей качества, гарантирующих сопротивление металла разрушению, в том числе при пониженных температурах и сложном напряженном состоянии в условиях непрерывности работы трубопровода. Подробно описаны химические, структурные, технологические и эксплуатационные факторы, влияющие на сопротивление разрушению и склонность к деформационному старению сталей. Большое внимание уделено явлению деформационного старения: приведены механизмы, отвечающие за изменение свойств при деформационном старении, обозначена многостадийность этого процесса. Представлены общие сведения об особенностях структуры, свойствах трубных сталей. На основании проведенного анализа сформулирована цель и определены задачи исследования.

Во второй главе приведены сведения о материалах и методах исследования. Работа выполнена на металле листового проката различных классов прочности (К52, К56, К60, К65) с использованием современных методов исследования стандартных и специальных свойств, прямых и физических методов изучения структуры.

Третья глава посвящена исследованию хладостойкости трубных сталей с разным структурным состоянием и, соответственно, уровнем механических свойств. Проведено сравнение температурной зависимости ударной вязкости на образцах с острым надрезом (KCV) и заранее нанесенной усталостной трещиной (KCT). Показано, что необходимо учитывать величину работы распространения трещины, особенно при отрицательных температурах, когда ее доля в суммарной энергии разрушения может составлять всего 10–20 %.

Физически обосновано высокое сопротивление хрупкому разрушению стали К65 с бейнитной структурой, обусловленное пониженным уровнем локальных внутренних напряжений, возникающих при нагружении, за счет более однородной и мелкодисперсной структуры.

Показана взаимосвязь между температурой вязко-хрупкого перехода и величиной релаксационного эффекта, измеренного при одинаковой доле напряжения от предела текучести: чем меньше величина релаксационного эффекта, тем ниже критическая температура перехода в хрупкое состояние.

В четвертой главе представлены результаты изучения деформационного старения сталей с феррито-перлитной и бейнитной типами структуры: его влияния на механические свойства, сопротивление разрушению. Показана наиболее высокая склонность к старению стали со структурой бейнитного типа. Установлено увеличение релаксационного эффекта после старения, свидетельствующее о повышенном уровне локальных напряжений, возникающих при деформации состаренного металла, наиболее характерное для бейнитной стали. Деформационное старение стали с бейнитной структурой увеличивает прирост предела текучести при скачкообразном изменении скорости деформации вследствие повышения сопротивления термоактивируемого скольжения. Обнаружен локальный TRIP-эффект, связанный с мартенситным превращением участков остаточного аустенита в структуре. Полученные результаты позволили сформулировать механизм деформационного старения стали с бейнитной структурой.

Пятая глава посвящена исследованию предварительно нагретых (имитация нанесения покрытия) труб АТР класса прочности К60, подверженных деформации с разной степенью и последующему старению. Исследование деформационного старения сталей для труб АТР показало, что критическая степень деформации, при которой они сохраняют способность к деформационному упрочнению – 5%

(бейнитная сталь – 2%), благодаря многокомпонентной структуре с неоднородным распределением углерода, большая часть которого связана в островках MA, мартенсите, цементите, наноразмерных карбидах (Nb,V)C, различной прочностью структурных составляющих, большим количеством свободных дислокаций в феррите, не закрепленных атомами внедрения.

Каждая глава заканчивается выводами. Общие выводы приведены в заключении диссертационной работы.

Замечания по диссертационной работе

1. Неудачно сформулировано положение 1 теоретической и практической значимости (с. 8 диссертации). В частности, утверждается, что основная доля в суммарной энергоёмкости разрушения при пониженных температурах приходится на работу зарождения трещины. Однако «для объективной оценки риска образования протяженных разрушений магистральных трубопроводов» предлагается учитывать меньшую составляющую суммарной работы разрушения - интенсивность снижения работы распространения трещины при понижении температуры испытаний. С чем связано смещение акцентов, требует объяснения. Также при определении оценки риска образования протяженного разрушения следовало бы обсудить возможный вклад пластической деформации, которая для сталей исследуемого класса может проявить себя в достаточно широком диапазоне отрицательных температур.

2. Показано, что сравнение температурной зависимости ударной вязкости на образцах (KCV и KCT) позволяет определить долю работы зарождения и долю работы распространения трещины в общей энергии разрушения в зависимости от температуры испытания. Однако не вполне понятно, сколько образцов было испытано на точку (температуру испытания), по какому принципу строилась зависимость ударной вязкости от температуры испытания (KCV и KCT), какова мера её воспроизводимости: на соответствующие кривых отсутствуют экспериментальные точки, либо ошибки средних (рис. 3.5, 3.6 и 4.4 диссертационной работы). Полученные результаты достаточно сложны для сопоставления, в частности, из-за возможных различий в форме переднего фронта усталостной трещины (образец KCT) и трещины, сформировавшейся в вершине надреза (образец KCV). Отсюда возможные различия в работе распространения трещины (KCT и KCV), которая включает в себя составляющие макропластической деформации с последующим образованием боковых отколов, зоны долома и пластического изгиба образца. Кроме того

необходимо оценить риски, связанные с завершением испытания при температуре -100°C . Исходя из принципа максимума правдоподобия, объективность построения кривых хладноломкости возможна при детальном измерении ударной вязкости и на нижней ветви кривой хладноломкости (обычно с шагом $15 - 20$ градусов до -150°C и контрольные замеры ударной вязкости при -196°C). Ограничение температур испытания более высокими их значениями может привести к отклонению зависимости ударной вязкости и её параметров (положения верхней и нижней полки, снижения работы разрушения в интервале температур вязко-хрупкого перехода, критических значений температур), масштаб которого будет также определяться и другими факторами, в частности, количеством образцов на точку, температурным шагом измерения ударной вязкости. Это, в итоге, может исказить наблюдаемые соотношения между кривыми, получаемыми на образцах с различным типом надрезов, но в какой мере, из приведенных результатов не ясно.

3. В работе нет данных о параметрах металлургического качества исследуемых сталей, оказывающих, как известно, огромное влияние на их эксплуатационные свойства, в частности, на сопротивление разрушению.

4. Было бы целесообразно изучить влияние деформационного старения на свойства изучаемых в работе трубных сталей в зоне термического влияния сварного соединения. Данному вопросу посвящено много исследовательских работ и научных трудов, которые можно было бы пополнить результатами для изучаемого в работе спектра материалов.

5. В диссертационной работе отсутствует обоснование выбора двух сталей - К56 и К65 - для проведения сравнительного анализа влияния деформационного старения на параметры хладостойкости и трещиностойкости. Также непонятно, почему структурный и фрактографический анализы ограничены только исследованиями стали К65.

Однако сделанные замечания не снижают общей положительной оценки. Диссертационная работа является законченным научным исследованием, содержащим решение поставленной задачи, весьма актуальна, имеет научную новизну и практическую ценность.

Заключение

Представленная диссертация является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на хорошем научно-методическом уровне. Тематика

исследования соответствует п.2 и п.4 Паспорта специальности ВАК 2.6.1. (05.16.01) – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов», технические науки.

В целом, диссертационная работа Мишетьян Анна Рубеновны на тему «Особенности механизмов разрушения и деформационного старения в зависимости от структурного состояния низколегированных трубных сталей» по актуальности, научной новизне, теоретической и практической значимости отвечает требованиям п.9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013, а Мишетьян Анна Рубеновна заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1. (05.16.01) – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Официальный оппонент,
кандидат технических наук,
Доцент кафедры металловедения и
физики прочности, Ученый секретарь
Федерального УМО по УГСН 22.00.00
«Технологии материалов»



Элина Александровна Соколовская

28.07.2022

ПОДПИСЬ

ЗАВЕРЯЮ

Проректор по безопасности
и общим вопросам
НИТУ «МИС

И.М. Исаев

