

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора физико-математических наук, профессора, директора Научно-исследовательского физико-технического института федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского» Чувильдеева Владимира Николаевича на диссертацию 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.

Диссертация Мишетьян А.Р. посвящена актуальной проблеме исследования физической природы процесса деформационного старения малоуглеродистых низколегированных трубных сталей, а также изучению особенностей изменения механических свойств трубных сталей в процессе деформационного старения.

Актуальность работы обусловлена отрицательным влиянием процесса деформационного старения на механические свойства трубных сталей, которое необходимо учитывать при оценке технического состояния длительно эксплуатирующихся трубопроводов, а также отсутствием систематических экспериментальных и теоретических исследований механизмов реализации процесса деформационного старения в трубных сталях различного класса прочности, имеющих различные типы микроструктуры.

Диссертация, без сомнения, обладает **научной новизной**. Среди ключевых научных результатов следует выделить исследование связи механических свойств с параметрами микроструктуры трубных сталей. Отмечу также большой объем проведенных экспериментальных исследований структуры и механических свойств трубных сталей различного класса прочности, которые позволили автору провести анализ влияния параметров микроструктуры на склонность сталей к деформационному старению. Большой научный интерес также представляет приведенная в диссертации качественная модель деформационного поведения бейнитных сталей, позволяющая объяснить неоднозначный характер изменения механических свойств бейнитных сталей – было показано, что при деформационном старении происходит одновременное исчезновение участков мартенсито-аустенитной микроструктуры и блокировка подвижных решеточных дислокаций атомами внедрения.

Практическая значимость диссертационной работы заключается в исследовании механических свойств и хладостойкости состаренных трубных сталей. Полученные научные результаты и рекомендации диссертационной работы могут быть использованы при разработке рекомендаций к режимам получения трубных сталей с повышенной долговечностью и стойкостью против деформационного старения.

Диссертационная работа написана понятным научным языком, изложена на 145 страницах, включает в себя 62 рисунка и 16 таблиц. По своей структуре диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов и списка литературы, включающего 137 источников.

Во введении представлено обоснование актуальности проведенных исследований, их научная новизна и практическая значимость, сформулированы цель и задачи работы, перечислены основные результаты и положения, выносимые на защиту. Отмечена научная новизна и практическая значимость диссертационной работы.

В первой главе представлен аналитический обзор работ, посвященных проблеме эксплуатационной надежности низколегированных трубных сталей. Подробно описано современное состояние исследований по теме диссертации, систематизированы и проанализированы известные данные о феноменологии процесса деформационного старения и его влиянии на свойства конструкционных сталей.

Вторая глава содержит описание используемых материалов (малоуглеродистых трубных сталей класса прочности К52, К56, К60 и К65) и методов исследования их микроструктуры и механических свойств. Подробно описана процедура испытаний на стойкость к деформационному старению образцов трубных сталей.

Третья глава посвящена исследованию хладостойкости малоуглеродистых трубных сталей. Описаны результаты исследований стандартных механических свойств трубных сталей К52, К56, К60 и К65 при испытаниях на растяжение, охарактеризована микроструктура сталей в исходном состоянии (балл зерна, полосчатость). Для оценки влияния параметров микроструктуры сталей на характеристики их хладноломкости проведены испытания на ударную вязкость при отрицательных температурах образцов с острым надрезом (КCV) и с предварительно выращенной усталостной трещиной (КСТ). Проведена оценка характера температурной зависимости работы зарождения трещины и работы распространения трещины в сталях с различной микроструктурой. Показано, что основной вклад в ударную вязкость сталей с феррито-перлитной микроструктурой (К52, К56) вносит работа зарождения трещины, а в высокопрочных сталях К60 и К65 – работа распространения трещины. Показано, что соотношение между работой зарождения и распространения трещины зависит от

температуры испытания.

Испытания на трещиностойкость по схеме изгиба образцов с острым надрезом позволили показать, что в высокопрочных сталях К60 и К65 работа зарождения и распространения трещины выше, чем в феррито-перлитных сталях К52 и К56.

В п.3.3 диссертации представлены результаты релаксационных испытаний, показывающие, что высокопрочная сталь К65 обладает повышенной релаксационной стойкостью. Низкие характеристики релаксационной стойкости сталей К52, К56 и К60 связаны, по мнению автора, с полосчатым (слоистым) типом микроструктуры этих сталей, что затрудняет релаксацию внутренних микронапряжений. Показано, что существует корреляция между релаксационной стойкостью и температурой хрупко-вязкого перехода в малоуглеродистых трубных сталях.

В четвертой главе представлены результаты исследования влияния деформационного старения на механические свойства и хладостойкость сталей с феррито-перлитной (К56) и бейнитной (К65) микроструктурой.

Показано, что деформационное старение приводит к увеличению отношения предела текучести к пределу прочности ($\sigma_{0.2}/\sigma_B$), снижению пластичности и ударной вязкости сталей. Установлено, что процесс деформационного старения оказывает наиболее существенное влияние на трещиностойкость при испытаниях на изгиб и ударную вязкость бейнитной стали К60 при отрицательных температурах за счет отрицательного влияния на сопротивление стали зарождению трещин. Проведены подробные исследования релаксационной стойкости сталей К52, К56, К60 и К65 в исходном и состаренном состояниях. Показано, что высокопрочные стали обладают меньшей глубиной релаксации.

С использованием метода внутреннего трения показано, что основным механизмом деформационного старения сталей с феррито-перлитной микроструктурой является диффузионно-контролируемое перераспределение атомов углерода в объеме кристаллической решетки и их взаимодействие с решеточными дислокациями, которое приводит к повышению предела текучести сталей. Проведенные рентгенографические, металлографические и электронно-микроскопические исследования позволили показать, что при деформационном старении стали К65 дополнительно наблюдается уменьшение объемной доли участков аустенитно-мартенситной микроструктуры (TRIP-эффект), что приводит к разупрочнению стали. Это приводит к немонотонному изменению механических свойств бейнитных сталей при деформационном старении.

Глава 5 диссертации посвящена исследованию механических свойств трубной стали класса К60, которая может быть использована для создания трубопроводов,

эксплуатирующихся в районе активных тектонических разломов, а также может применяться при изготовлении гнутых отводов. Показано, что сталь К60 обладает высокими механическими свойствами, которые при малых степенях предварительной деформации (не более 5%) соответствуют требованиям СТО Газпром 2-4.1-713-2013. Процесс деформационного старения не оказывает существенного влияния на ударную вязкость KCV₋₆₀ стали К60. Установлено, что высокая деформационная способность стали К60 обусловлена особенностями ее микроструктуры, представляющей собой сочетание полигонального феррита, аустенита и участков отпущенного реечного мартенсита.

В Выводах сформулированы основные результаты диссертационной работы, указывающие на решение поставленных задач.

Достоверность полученных результатов обеспечивается использованием современных методов исследований структуры и свойств сталей, использованием аттестованного оборудования и измерительной аппаратуры, применением современных методов обработки и анализа экспериментальных данных.

Автореферат отражает содержание диссертации в полной мере.

Основные результаты диссертационной работы докладывались на международных и всероссийских конференциях, опубликованы в 9 статьях в журналах, рекомендованных ВАК («Деформация и разрушение материалов», «Проблемы черной металлургии и материаловедения», «Металлург» и др.), а также в сборниках трудов конференций.

По диссертации имеется ряд **вопросов и замечаний**:

1. В работе не учитывается влияние водородного охрупчивания на механические свойства и хладостойкость состаренных трубных сталей. В случае совместного влияния деформационного старения и водородного охрупчивания механические свойства состаренных трубных сталей могут быть ниже, чем значения, представленные в диссертационной работе.
2. В Главе 3 диссертации показано, что глубина релаксации напряжений $\Delta\sigma_p$ для сталей более высокого класса прочности (К65) оказывается меньше, чем для сталей класса прочности К52 и К56. Для сравнительного анализа релаксационной стойкости сталей различного класса автор нормирует величину приложенного напряжения на предел текучести $\sigma_{0.2}$ (см. рис. 3.8 на стр. 67). Поскольку исследуемые стали обладают различными значениями предела текучести, то используемая нормировка приводит к искусственному смещению кривой $\Delta\sigma_p(\sigma_0/\sigma_{0.2})$ в область больших значений $\sigma_0/\sigma_{0.2}$. Для корректного сравнения

релаксационной стойкости сталей необходимы сравнительные исследования при одном и том же напряжении, например, соответствующем уровню напряжений в стенке трубы при заданном давлении газа.

3. Из результатов релаксационных испытаний, представленных на рис. 3.8, следует, что процесс релаксации протекает при очень низких напряжениях. Например, для стали К52 первая точка на кривой $\Delta\sigma_p(\sigma_0/\sigma_{0.2})$ соответствует напряжению $\sigma_0 \sim 75-80$ МПа, а для стали К65 – $\sigma_0 \sim 160-170$ МПа. Поскольку процесс релаксации напряжений традиционно связывают с аккомодационной перестройкой дислокационной микроструктуры, то начало пластической деформации при столь малых напряжениях является неожиданным результатом, нуждающемся в объяснении.
4. Результаты исследований внутреннего трения (стр. 96-97) показали, что в процессе деформационного старения сталей К52 и К56 происходит одновременное увеличение высоты пика Снука и пика Кестера. Увеличение высоты пика Снука автор связывает с «...увеличением концентрации атомов внедрения, участвующих во взаимодействии с дислокациями». В диссертации не раскрыта причина, по которой в процессе деформационного старения происходит увеличение концентрации атомов углерода в кристаллической решетке феррита, которые образуют атмосферы Коттрелла вокруг ядер решеточных дислокаций.
5. В работе отсутствует объяснение причин немонотонного изменения ударной вязкости KCV₋₆₀ стали К60 при увеличении степени предварительной деформации (табл. 5.2 на стр. 115 диссертации).

Высказанные замечания не снижают общую положительную оценку работы, диссертация выполнена на высоком научном уровне.

Диссертационная работа Мишетьян А.Р. представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, основные положения, выводы и рекомендации являются логичными и хорошо аргументированными. Научные положения, выносимые на защиту – обоснованы.

Диссертационная работа Мишетьян Анны Рубеновны на тему «Особенности механизмов разрушения и деформационного старения в зависимости от структурного состояния низколегированных трубных сталей» соответствует требованиям пп. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 года № 842 (ред. от 11.09.2021), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а её автор, Мишетьян Анна Рубеновна, заслуживает присуждения ученой степени

кандидата технических наук по специальности 2.6.1 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Официальный оппонент,
д.ф.-м.н., профессор,
директор НИФТИ ННГУ

ВЗ

Чувильдеев В.Н.

01.03.2022

«Подпись В.Н. Чувильдеева заверяю»

Ученый секретарь ННГУ



Л.Ю. Черноморская

Черноморская Л.Ю.

Контактная информация:

603022, г. Нижний Новгород, просп. Гагарина, 23

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского» (ННГУ)

Чувильдеев Владимир Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор, директор Научно-исследовательского физико-технического института Национального исследовательского Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского (НИФТИ ННГУ), Тел.: +7 (831) 462-31-20, Факс: +7 (831) 462-31-36
e-mail: chuvildeev@nifti.unn.ru