

## ОТЗЫВ

официального оппонента Лобанова Михаила Львовича на диссертационную работу Варнак Ольги Васильевны «Влияние структуры на склонность к деформационному старению и проявлению эффекта Баушингера в низкоуглеродистых сталях для трубопроводов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

**Актуальность темы диссертации.** Обуславливается интенсивным освоением месторождений углеводородов, расположенных в удаленных районах Севера, Восточной Сибири, Дальнего Востока и на континентальных шельфах. В этих регионах магистральные трубопроводы прокладываются и эксплуатируются в условиях низких температур, в зонах с подвижными грунтами и повышенной сейсмоопасности. Трубопроводы, эксплуатирующиеся в экстремальных условиях, подвергаются длительным статическим, динамическим и малоцикловым нагрузкам, что сопровождается микропластической деформацией и приводит к деградации химических и физико-механических свойств материалов. Таким образом, проведение комплексных исследований по вопросам влияния структуры на склонность низкоуглеродистых трубных сталей к деформационному старению и проявлению эффекта Баушингера является весьма актуальным.

**Структура и основное содержание работы.** Диссертационная работа содержит 101 рисунок, 44 таблицы и 2 приложения, изложена на 226 страницах машинописного текста, состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы, который включает 140 источников.

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, представлены научная новизна и практическая значимость, а также основные положения, выносимые на защиту. Отмечен личный вклад автора.

**Первая глава** содержит аналитический обзор литературы по теме диссертационной работы, на основании, которого осуществлены постановка цели и задач исследования. Приведены литературные данные о закономерностях проявления деформационного старения и эффекта Баушингера в металлических материалах. Представлена информация о химических составах сталей и технологиях изготовления сварных и бесшовных труб.

Во **второй главе** приводится исчерпывающая информация об исследованных автором материалах и привлеченных методах исследования. Следует отметить тщательность планирования и проведения экспериментов.

**Третья глава** посвящена подробному рассмотрению закономерностей изменения механических свойств при деформационном старении стали 06Г2ФБ с ферритно-перлитной и ферритно-бейнитной структурами. Исследовалась зависимость склонности к деформационному старению стали 06Г2ФБ с ферритно-бейнитной структурой от объемной доли бейнита, параметров высокого отпуска, различных режимов аустенитизации и горячей деформации. Эксперименты выполнялись также на сталях 07Г2МФБ и 06Г2МБ для выяснения влияния легирования на развитие деформационного старения.

В **четвертой главе** представлены данные о влиянии ферритно-перлитной и ферритно-бейнитной структур стали 06Г2ФБ на склонность к проявлению эффекта Баушингера. На этой стали при исходной ферритно-бейнитной структуре проведены исследования по влиянию объемной доли бейнитной составляющей, температуры аустенитизации и высокого отпуска на склонность к проявлению эффекта Баушингера. Рассмотрено влияние знакопеременной деформации на склонность к деформационному старению.

В **пятой главе** рассмотрена склонность к деформационному старению сталей 07Г2МФБ, 08Г2ФБ, 10ГФБ и 14ГМБ, применяемых для изготовления бесшовных труб. На стали 08Г2ФБ проведена оценка склонности к проявлению эффекта Баушингера. Показано, что для низкоуглеродистых



сталей, применяемых для изготовления бесшовных труб, реализуются те же закономерности деформационного старения и проявления эффекта Баушингера, что и для сталей, используемых для производства сварных труб.

На основании результатов диссертационной работы разработана методика проведения механических испытаний по оценке склонности к деформационному старению на образцах полной толщины, а также предложена низкоуглеродистая марганцевая сталь, комплексно легированная молибденом, ванадием и ниобием, для изготовления морских трубопроводов.

В конце диссертации приведены основные выводы по работе.

**Достоверность и обоснованность положений и выводов** работы обеспечены использованием современных взаимодополняющих методов исследования структуры, измерения физических и механических свойств. Проведение исследований с использованием различных методов и хорошая сходимость данных свидетельствует о достоверности и надежности результатов, а также основных положений и выводов диссертации.

**Научную новизну результатов диссертационной работы** составляет установление зависимости проявления эффекта Баушингера в низкоуглеродистых трубных сталях от типа микроструктуры. Установлено, что при ферритно-бейнитной структуре склонность к проявлению эффекта Баушингера выше, чем при ферритно-перлитной. С увеличением объемной доли бейнитной составляющей склонность к проявлению эффекта Баушингера возрастает.

**Практическая значимость полученных результатов.** В связи с более широким использованием для производства высокопрочных труб низкоуглеродистых сталей, содержащих преимущественно ферритно-бейнитную структуру, значимыми являются результаты исследования по влиянию типа микроструктуры на склонность к деформационному старению. Наибольший интерес представляют результаты исследования свойств сталей, подвергнутых старению после циклической деформации.

Полученные автором данные использованы при разработке методики механических испытаний РосНИТИ: «Оценка склонности металла труб к деформационному старению в соответствии с DNV-OS-F101, с дополнительным требованием «Р» - «Трубы с повышенной деформационной способностью».

Предложен состав низкоуглеродистой трубной стали и разработан режим термической обработки горячекатаных бесшовных труб группы прочности Х65, используемых для подводных трубопроводов с укладкой труб с барабана в соответствии с требованиями стандарта DNV-OS-F101.

**По диссертационной работе имеются следующие вопросы и замечания:**

1. В разделе методика, а также далее по тексту диссертационной работы, не везде указаны места отбора образцов, а также их ориентация по отношению к основным деформациям, которым подвергалось при изготовлении трубное изделие. На ряде изображений микроструктуры отсутствует масштаб.

2. Согласно результатам работы не вызывает сомнений, что склонность к деформационному старению и эффекту Баушингера существенно зависит от микроструктуры, стали. Однако идентификация структурных составляющих по «плоским» изображениям, причем исключительно по морфологическим признакам, является явно условной и нуждается в дополнительных комментариях особенно для специалистов плохо знакомых с металлографией современных трубных сталей. Только ссылка на статью [87] в тексте работы явно является недостаточным. Условность идентификации структурных составляющих (особенно, феррита и бейнита) ставит под сомнение полученные в работе зависимости свойств от количества определенных структурных составляющих. Последнее в наибольшей степени относится к выводам к главе 3.

3. Идентификация элементов структуры исключительно по морфологическим признакам ставит также под сомнение количественные



оценки в доле рекристаллизованных ферритных зерен при высоком отпуске стали 06Г2ФБ с 12 до 28 % (стр. 69-70).

4. Непонятна (неочевидна) целесообразность использования в работе ориентационной микроскопии (EBSD). Она не использована для идентификации структурных составляющих (это затруднено, но возможно), и в недостаточном объеме использована для определения кристаллографических текстур, как локальных, так и для изделий в целом.

5. При малости деформаций, при которых наблюдается эффект Баушингера, величина данного эффекта в текстурованных изделиях, которыми являются трубные материалы, должен демонстрировать заметную анизотропию. Как это учитывалось при планировании и проведении экспериментов в работе?

6. В выводах 8 и 9 к главе 3 утверждается, что феррито-бейнитная структура в стали 06Г2ФБ, сформированная в результате промышленного процесса, обладает заметно меньшей склонностью к деформационному старению и к отпускной хрупкости по сравнению с аналогичными структурами, полученными в модельных экспериментах. При важности, особенно технологической, данных заключений объяснения данному эффекту в тексте практически отсутствуют.

### **Заключение по работе**

Вышеуказанные замечания не снижают общий высокий уровень представленной работы. Диссертация представляет собой завершённую работу, в рамках которой проведено большое количество уникальных экспериментальных исследований.

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов». Автореферат и опубликованные статьи полностью отражают содержание диссертационной работы.

