

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Струина Алексея Олеговича «Повышение сопротивления разрушению труб большого диаметра классов прочности К60, К65 из малоуглеродистых феррито-бейнитных сталей», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

Диссертационная работа посвящена исследованию взаимосвязи между параметрами микроструктуры, механическими и эксплуатационными свойствами основного металла и сварных соединений труб К60, К65. Выбранное соискателем направление исследований является одним из наиболее популярных и востребованных для трубной отрасли и листопрокатного производства. Проведение подобных исследований позволяет определить пути совершенствования технологии изготовления и оптимизации химического состава современных феррито-бейнитных трубных сталей. Малоуглеродистые феррито-бейнитные стали используются в трубной промышленности сравнительно недавно, как следствие, вопросы изучения их сопротивления разрушению и свариваемости являются актуальными и практически значимыми.

В соответствии с обоснованной актуальностью автор выбирает структуру работы таким образом, чтобы достичь поставленной цели исследования и решить все сформулированные для ее достижения задачи. Логичной выглядит структура исследования, состоящая из введения и пяти глав, первая из них посвящена анализу литературных данных, вторая – описанию материалов и методов исследования, третья – изучению микроструктуры и механических свойств сталей в лабораторных условиях, четвертая – анализу особенностей разрушения труб при эксплуатации, а пятая – разработке методов, позволяющих прогнозировать сопротивление разрушению.

Для наиболее полного раскрытия заявленной темы автором сформулирована цель диссертации и ее задачи. В частности, целью исследования является повышение сопротивления разрушению труб К60, К65, посредством оптимизации микроструктуры основного металла труб и их сварных соединений. Достижение этой цели автором осуществляется поэтапно, в каждой из глав своей работы он проводит исследования, позволяющие выйти на комплексный результат, содержащий научную новизну.

В первой главе работы приведен обзор литературных данных по теме исследования. В ней приведены общие сведения о состоянии трубной отрасли,

изложены известные подходы к легированию и технологии изготовления современных трубных сталей. Проанализирован общий и перспективный уровень требований к свойствам основного металла и сварных соединений труб К60, К65. Приведены известные данные о свойствах и свариваемости малоуглеродистых феррито-бейнитных сталей. Показано, что основным факторами, сдерживающими широкое применение высокопрочных феррито-бейнитных сталей, являются неопределенность в вопросах обеспечения стойкости против протяженного разрушения, а также относительно низкие вязкие свойства сварного соединения. Сформулирована цель и задачи исследования.

Во второй главе приведены основные параметры двенадцати труб К60, К65, использованных для проведения исследования. В ней также описаны стандартизированные и специальные методы исследования микроструктуры и механических свойств исследованных материалов, которые были использованы при выполнении работы.

В третьей главе приведены результаты исследований микроструктуры и свойств основного металла и сварных соединений труб К60, К65, выполненных в лабораторных условиях. На основании проведенных исследований установлены параметры микроструктуры основного металла труб, влияющие на его способность тормозить вязкое разрушение. А также показано, что в сварных соединениях труб К60, К65 существует зона локальной хрупкости – участок крупного зерна вблизи линии сплавления размером до 4 зерен аустенита. Определена взаимосвязь между типом микроструктуры, сформировавшемся на данном участке, и уровнем трещиностойкости. Показано, как можно повысить свойства зоны локальной хрупкости, корректируя химический состав основного металла труб.

В четвертой главе проанализированы особенности разрушения современных труб К60, К65 на основании результатов полномасштабных гидравлических и пневматических испытаний. Показано влияние заводских и монтажных сварных соединений на процесс распространения вязкого разрушения. Исследовано влияние зоны локальной хрупкости сварного соединения на конструктивную прочность газопровода.

Пятая глава посвящена разработке методик испытаний для оценки сопротивления вязкому разрушению металла труб К65 в лабораторных условиях. На основании закономерностей распространения разрушения в современных трубах, изученных в рамках четвертой главы, предложены две новые методики механических испытаний. Проведена оценка объективности



данных методик путем проведения испытаний трубных сталей с известным (удовлетворительным и неудовлетворительным) сопротивлением вязкому разрушению.

Вышеизложенная структура диссертации позволяет автору решить поставленные задачи и получить достаточно интересные результаты. Заслуживают отдельного внимания некоторые научные положения, выносимые на защиту, в частности:

- низкое сопротивление протяженному вязкому разрушению феррито-бейнитных сталей связано с наличием в их микроструктуре прерывистых полос «вторых» фаз, вытянутых в направлении прокатки. Наличие таких полос приводит к повышенной склонности стали к образованию расщеплений;

- трещиностойкость участка крупного зерна вблизи линии сплавления определяется типом образовавшейся микроструктуры. При этом размер исходного аустенитного зерна является второстепенным фактором. «Благоприятным» типом микроструктуры на данном участке является дисперсный игольчатый и реечный бейнит;

- разработана методика и определена энергоемкость разрушения труб К65. Показано, что она изменяется по длине разрушения и максимальна на стадии его зарождения;

- определено влияние монтажных и заводских сварных швов на траекторию распространения вязкого протяженного разрушения.

Диссертационная работа в целом производит впечатление цельного самостоятельного исследования, основные научные положения, выводы, предложения и рекомендации достаточно логичны и аргументированы. Их можно считать значимыми и имеющими научную новизну. Достоверность результатов подтверждена достаточным количеством экспериментальных данных.

Практическая значимость работы подтверждается использованием результатов работы такими организациями как ОАО «Газпром» и ОАО «ВТЗ». Разработанные методики механических испытаний были включены в стандарты ОАО «Газпром». Рекомендации к химическому составу трубной стали К60, использованы ОАО «ВТЗ» при прохождении квалификационных испытаний по проекту «Сила Сибири».

Однако по диссертационному исследованию имеются следующие замечания и предложения:

1. В работе отсутствуют данные о режимах термомеханической контролируемой обработки, по которым были изготовлены исследуемые

