



«УТВЕРЖДАЮ»

Технический директор ОАО «ЧМК»

Зотов Д.В.

«18» августа 2014 г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации 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

Современные магистральные трубопроводы для дальнего транспорта газа прокладывают и эксплуатируют в сложных климатических условиях при повышенном рабочем давлении. При этом для их строительства используют трубы из новых феррито-бейнитных сталей высокой прочности. В таких условиях вопрос безопасной эксплуатации, надежности трубопровода становится первоочередным. Рассматриваемая диссертационная работа посвящена решению данного вопроса, а именно повышению сопротивления разрушению труб К60, К65, применяемых для строительства современных магистральных трубопроводов. Основными задачами исследования являются определение оптимальных параметров микроструктуры основного металла и сварного соединения труб, обеспечивающих их безопасную эксплуатацию, а также разработка новых критериев и методик испытаний оценки вязкости разрушения, которые позволят избежать поставок трубной продукции несоответствующего качества. Исходя из вышеизложенного, рассматриваемая работа, несомненно, является актуальной.

Во введении раскрыта актуальность работы, сформулированы цель, задачи, научная новизна и практическая значимость работы.

В первой главе приведены общие сведения о состоянии и направлениях развития трубной отрасли. Выполнен анализ технических требований, предъявляемых к основному металлу и сварным соединениям современных высокопрочных труб для дальнего транспорта газа. Рассмотрены разновидности технологий производства листового проката, а также существующие подходы к легированию трубных сталей. Проанализировано современное состояние



вопроса формирования структуры и свойств основного металла и сварного соединения труб большого диаметра К60, К65, а также обоснован выбор направления исследования.

Во второй главе приведены основные параметры исследуемых сталей и описаны методики, использованные для их изучения.

Третья глава посвящена изучению взаимосвязи между параметрами микроструктуры и комплексом механических свойств основного металла и сварного соединения труб К60, К65. Металлографические исследования позволили установить особенности микроструктуры основного металла труб снижающие его сопротивление вязкому разрушению. Показано, что сварные соединения труб К60, К65 имеют зону локальной хрупкости – участок крупного зерна вблизи линии сплавления размером до 4 зерен аустенита. Определена зависимость между микроструктурой, образовавшейся в этой зоне, и ее трещиностойкостью, выраженной параметром CTOD (Crack Tip Opening Displacement).

В четвертой главе описаны особенности деформирования и разрушения современных труб К60, К65, определенные по результатам полигонных пневматических и гидравлических испытаний труб. Показано влияние локально низких вязких свойств заводских сварных соединений на конструкционную прочность труб.

Пятая глава посвящена разработке новых критериев и методик оценки сопротивления протяженному вязкому разрушению основного металла труб. В ней показано, что предлагаемые методики испытаний позволяют оценить сопротивление протяженному вязкому разрушению основного металла труб более объективно, чем существующие.

В работе получен ряд новых научных результатов, наиболее важными из которых можно считать:

- определена энергоемкость вязкого разрушения современных высокопрочных труб и изучено ее изменение на различных стадиях распространения разрушения. Показано, как и какие параметры микроструктуры, сформированной при термомеханическом упрочнении листа, влияют на энергоемкость разрушения основного металла труб и, соответственно, на сопротивление распространению вязкой трещины;

- приведены новые данные о взаимосвязи между параметрами микроструктуры и трещиностойкости сварных соединений труб К60, К65. Показано, что трещиностойкость участка крупного зерна вблизи линии сплавления определяется типом внутризеренной микроструктуры. Размер



исходного зерна аустенита является второстепенным фактором. Установлены типы микроструктур, обеспечивающие высокий и низкий уровень трещиностойкости участка крупного зерна вблизи линии сплавления;

- разработаны новые методики оценки сопротивления протяженному вязкому разрушению металла труб в лабораторных условиях, которые коррелируют с результатами полномасштабных пневматических испытаний труб, проведенных на полигоне ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург».

Диссертационная работа производит впечатление цельного самостоятельного исследования, основные научные положения, выводы и рекомендации достаточно логичны и аргументированы. К достоинствам работы следует отнести одновременное исследование основного металла и сварного соединения труб К60, К65, что позволило сформировать объективное представление об эксплуатационных свойствах современных труб, как о конструкции.

Значимость результатов исследования для науки заключается в том, что теоретические выводы и полученные экспериментальные данные о типах и параметрах микроструктуры исследуемых сталей могут быть использованы для разработки теорий и моделей, описывающих превращение аустенита в малоуглеродистых сталях. Представленные в работе научные положения и выводы можно считать обоснованными и достоверными, поскольку они основаны на достаточном количестве экспериментальных данных, полученных, как в условиях испытательных лабораторий, так и в результате полноразмерных пневматических и гидравлических испытаний труб.

Практическая ценность работы подтверждается внедрением ее результатов в производство. Рекомендации по выбору химического состава трубной стали были использованы ОАО «ВТЗ» при размещении производственного заказа на листовую прокат для проекта ГТС «Сила Сибири» по ТУ 14-101-946-2013. Разработанные методики испытаний были включены в Рекомендации Газпром 133-2013, а предложенные критерии оценки трещиностойкости вошли в стандарт СТО Газпром 2-4.1-741-2013 «Технические требования к основному металлу труб и методы их контроля».

Полученные в работе результаты по оптимизации микроструктуры и химического состава стали могут быть эффективно использованы при производстве проката для электросварных толстостенных труб на таких металлургических предприятиях России, как: ОАО «Северсталь», ОАО «ММК», ОАО «Уральская сталь», а также на стане 5000 ОАО «ВМЗ». Полученные



данные по свариваемости рекомендуется использовать на ОАО «ЧТПЗ», ОАО «ВТЗ», ОАО «ИТЗ» при производстве труб.

По работе есть ряд замечаний и предложений:

1. Определены оптимальные типы микроструктуры для основного металла и сварного соединения труб К60, К65, но отсутствуют данные о необходимом соотношении фазовых составляющих при формировании таких структур. Данный вопрос нуждается в дальнейшей проработке. Необходимо сформировать требования к параметрам микроструктуры феррито-бейнитных сталей и включить их в технические требования к прокату и трубам;

2. Не представлены сведения по влиянию режимов сварки на механические характеристики сварного соединения и геометрические параметры сварных швов;

3. Отмечено, что наличие расщеплений в изломе снижает энергоемкость разрушения при проведении полигонных испытаний, но при этом количественная оценка плотности расщеплений в изломе не проведена.

4. Не представлены результаты испытания падающим грузом исследуемых металлов. Данный способ испытания с записью диаграммы деформирования является альтернативным вариантом оценки сопротивления протяженному вязкому разрушению основного металла труб.

Сделанные замечания носят частный характер и не снижают научной и практической значимости работы.

Основное содержание работы отражено в публикациях автора. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

В целом, рассматриваемая диссертационная работа является законченной научно-исследовательской работой, выполненной на хорошем научно-техническом уровне и полностью удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор А.О. Струин заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Работа заслушана и обсуждена на заседании научно-технического совета ОАО «ЧМК», протокол № 35 от «18» августа 2014 г.

Начальник технического управления, к.т.н.

 Д.В. Шибуров

Начальник ИТЦ

 А.Г. Зырянов