

**ОТЗЫВ**  
официального оппонента на диссертационную работу  
Масляковой Анастасии Алексеевны  
«Влияние легирования и термической обработки на прочность и коррозионную  
стойкость сталей Fe-Mn-Si в CO<sub>2</sub>-содержащих нефтепромысловых средах»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по  
специальности 2.6.17. Материаловедение.

**Актуальность диссертационной работы**

В условиях постоянного развития нефте- и газодобывающей отрасли увеличиваются объемы потребления и производства трубопроводного транспорта. Стальные трубы являются основными элементами трубопроводов, от качества которых зависят надёжность и долговечность добывающей и транспортирующей системы.

В условиях влияния коррозионно-активных сред долговечность труб как из углеродистых, так и из низколегированных сталей невысока. Металл труб в процессе эксплуатации подвергается язвенной коррозии, а также коррозионному растрескиванию.

В настоящее время одним из основных превалирующих механизмов разрушения нефтепромысловых труб в процессе их эксплуатации является углекислотная коррозия. Следовательно, вопрос корректного подбора марки стали и режимов ее термической обработки для повышения долговечности нефтедобывающего оборудования в средах, содержащих CO<sub>2</sub>, является актуальным.

Одним из подходов решения проблемы повышения работоспособности оборудования является разработка и создание новых марок сталей повышенной стойкости к коррозионно-механическому разрушению в нефтепромысловых CO<sub>2</sub>-содержащих средах.

В данной работе рассматривается наименее затратный путь решения данной проблемы за счет повышения коррозионной стойкости широко применяемой марки стали 09Г2С системы легирования «Fe - Mn - Si» путем усовершенствования ее химического состава и последующей термической обработки, используя комплексное легирование стали, включающее синергетический эффект, который может позволить заменить дорогостоящие легирующие элементы и снизить себестоимость, но при этом повысить механические и коррозионные свойства.

**Структура и содержание диссертационной работы**

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Самарский государственный технический университет».

Рукопись диссертации Масляковой А. А. состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 129 наименований, одного приложения. Общий объем работы составляет - 121 страница.

Диссертация написана четким грамотным языком, иллюстрации и таблицы хорошо дополняют и поясняют текст. Замечаний по оформлению работы нет.

Во введении дана общая характеристика работы: ее актуальность, основные цели и задачи, научная и практическая значимость полученных результатов, а также положения, выносимые на защиту. Литературный обзор и анализ состояния вопросов повышения долговечность труб (стойкость к водородному растрескиванию (ВР), сульфидному коррозионному растрескиванию под напряжением (СКРН), углекислотной и бактериальной коррозиям, увеличение механических и других эксплуатационных свойств) представлены в соответствующих главах.

В первой главе рассмотрены основные виды коррозионного разрушения металла нефтепромыслового оборудования в процессе эксплуатации. Отмечается, что проблема выхода из строя нефтепромысловых труб в результате углекислотной коррозии в настоящее время является актуальной и требует разработки мер по ее предотвращению.

Показано, что на процесс развития углекислотной коррозии оказывает влияние не только состав и параметры транспортируемых сред, но и материальное исполнение трубопроводов, а также химический состав, механические свойства и микроструктурные характеристики материалов, из которых они изготовлены.

Автор отмечает необходимость в разработке новых марок сталей, которые будут иметь достаточную коррозионную стойкость в СО<sub>2</sub>-содержащих средах.

Вторая глава диссертации посвящена описанию объектов исследования и методов исследования.

В качестве материалов исследования выбраны наиболее распространенная трубная марка стали 09Г2С (система легирования Fe-Mn-Si) в качестве базовой стали для ее усовершенствования, и хромсодержащая сталь 13ХФА в качестве эталонной стали, необходимой для проведения сравнительного анализа коррозионной стойкости в СО<sub>2</sub>-содержащих нефтепромысловых средах.

В данной работе были проведены следующие лабораторные испытания: металлографический анализ, включающий световую и растровую электронную микроскопию, измерение механических свойств, включающие одноосное растяжение, измерение твердости и исследование на прокаливаемость, определение фазового и локального химического состава основного металла и продуктов коррозии, включающий рентгеноструктурный и спектральный анализы, испытание на стойкость металла к углекислотной коррозии.

В третьей главе приведен анализ технических требований, предъявляемых двумя крупными отечественными нефтяными компаниями – ПАО «Газпром Нефть» и ПАО «НК «Роснефть», а также технических условий двух наиболее крупных изготовителей бесшовных труб: ПАО «ТМК» и ПАО «Группа ЧТПЗ». Для сравнения рассмотрен международный стандарт на нефтегазопроводные трубы – API Spec 5L.

В четвертой главе приведен анализ исследования коррозионного разрушения нефтепромысловых труб из широко применяемых марок сталей 09Г2С и 13ХФА после эксплуатации в СО<sub>2</sub>-содержащих средах.

Отмечается, что характер коррозионного разрушения нефтепромысловых труб из сталей 09Г2С и 13ХФА идентичен, процесс коррозии начинается при значительно более низком парциальном давлении углекислого газа 6500 – 10400

Па, по сравнению с парциальным давлением 50000 Па, указанным в действующих методических указаниях №П4-06 М-0111.

В пятой главе рассмотрен способ повышения коррозионной стойкости базовой стали 09Г2С системы легирования «Fe-Mn-Si» в средах с повышенной концентрацией CO<sub>2</sub> путем усовершенствования ее химического состава и последующей термической обработки.

На основании литературных данных, показывающих влияние легирующих элементов на свойства стали, предложен и обоснован химический состав экспериментальной усовершенствованной марки стали, далее проведена его выплавка.

Проведено обоснование экономической эффективности применения экспериментальной стали для производства нефтепромысловых труб. Установлено, что приведенное в данной работе усовершенствование химического состава стали системы «Fe-Mn-Si» незначительно сказывается на цене экспериментального марочного состава.

Для экспериментальной марки стали рассмотрены два вида термической обработки, включающие закалку с двумя различными режимами охлаждения - в воду и раствор полимера и дальнейшим отпуском. Установлено, что наиболее оптимальным режимом термической обработки экспериментальной стали является закалка с охлаждением в воду и последующим отпуском при 400 °C или 600 °C. Формирующийся при высказанных режимах термообработки тип структуры обеспечивает металл высоким уровнем как прочностных, так и пластических свойств.

Показано, что минимальная скорость коррозии наблюдается после отпуска при 400 °C. После данного режима термической обработки скорость коррозии усовершенствованной экспериментальной стали на 12-17% меньше, чем у базовой стали 09Г2С.

Предложенная экспериментальная усовершенствованная марка стали может служить материалом для производства бесшовных нефтепромысловых труб, работоспособных в CO<sub>2</sub>-содержащих средах. Химический состав и механические свойства экспериментальной стали соответствуют требованиям действующих методических указаний № П4-06 М-0111 ПАО «НК «Роснефть»

В заключении диссертации сформулированы основные результаты и выводы. В приложениях приведены документы об использовании результатов работы.

### **Оценка степени научной новизны результатов диссертации**

Научная новизна исследования заключается в корректировании количества легирующих добавок для стали 09Г2С, а именно в использовании незначительных добавок хрома (0,4 масс %) и циркония (0,02 масс %), а также снижении концентрации углерода (до 0,06 масс %) и марганца (до 0,4 масс %) с целью повышения стойкости к общей коррозии в CO<sub>2</sub>-содержащей среде. Также осуществлен выбор оптимального вида термической обработки стали усовершенствованного марочного состава, обеспечивающего сталь необходимыми прочностными и коррозионными характеристиками.

## **Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов, рекомендаций, заключений и выводов**

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов, сформулированных в диссертационной работе, обеспечены корректной постановкой задач, применением аттестованных методик исследований и проведением экспериментов на современном оборудовании, значительным количеством лабораторных экспериментальных данных, их сопоставлением с результатами других авторов.

## **Соответствие работы требованиям, предъявляемым к диссертациям и паспорту специальности**

Выполнены все требования, предъявляемые к диссертациям. Проведен подробный анализ литературных данных, относящихся к теме диссертации, правильно установлены цели и задачи исследования. Экспериментальные результаты представлены четко, как в виде графиков и фотографий структур, так и текста, их описывающего. Работа написана ясным языком, хорошо иллюстрирована. Диссертация и автореферат содержат необходимые разделы и соответствуют друг другу.

Тема и содержание диссертационной работы соответствуют паспорту специальности 2.6.17. Материаловедение по пунктам 1, 3 и 9.

## **Практическая значимость и использование результатов**

Проведен анализ литературных данных по основным видам коррозии нефтепромыслового оборудования и используемым маркам стали. Обозначена проблема разрушения нефтяных труб в СО<sub>2</sub>-содержащих средах и сформулирована цель работы в повышении коррозионной стойкости широко применяемой марки стали 09Г2С системы легирования «Fe - Mn - Si» путем изменения ее химического состава, а также последующей термической обработки.

Автором произведена выплавка экспериментальной стали с усовершенствованным составом и подтверждена ее повышенная коррозионная стойкость в СО<sub>2</sub>-содержащей среде. Установлено, что минимальная скорость коррозии стали наблюдается после закалки при 920 °C и отпуска при 400 °C, и она меньше на 12-17 % скорости коррозии базовой стали 09Г2С, что позволяет обосновать и предложить режим термической обработки экспериментальной стали с усовершенствованным химическим составом.

## **Замечания по диссертационной работе**

По диссертационной работе имеются следующие замечания:

1. Методика проведения коррозионных испытаний не оценивает влияние избыточного давления на скорость коррозии. Может ли оно повлиять на полученные результаты?
2. Почему выбран хром, а не ванадий в качестве основного легирующего элемента?
3. В работе не отмечается влияние технологии изготовления, а именно

термической обработки, труб из разработанного химического состава стали на стоимость продукции.

4. При исследовании коррозионной стойкости в СО<sub>2</sub>-содержащей среде стали 09Г2С и ее усовершенствованного состава в качестве сравнения в работе рассматривается только одна сталь - 13ХФА.

Однако отмеченные замечания существенно не снижают ее научной и практической ценности.

### Заключение

В целом диссертационная работа Масляковой А.А. представляет собой законченное исследование. В работе изложены и обоснованы с научной точки зрения подходы к созданию нового химического состава низколегированной трубной стали, обладающих повышенной прочностью и коррозионной стойкостью в СО<sub>2</sub> - содержащих нефтепромысловых средах. Внедрение предложенного химического состава позволит получить значительный экономический эффект, вносящий вклад в развитие страны.

Автореферат соответствует содержанию диссертационной работы и достаточно полно отражает его.

Диссертационная работа Масляковой А.А. соответствует всем требованиям, в том числе п. 9, к кандидатским диссертациям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного 24.09.2013 г. постановлением Правительства РФ № 842, а ее автор, Маслякова Анастасия Алексеевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение.

Даю согласие на обработку своих персональных данных.

Официальный оппонент,  
кандидат физико-математических наук,  
начальник аналитического отдела  
ООО «Научно-производственный центр «Самара»

Петров Сергей  
Степанович

Специальность, по защищена диссертация:  
01.04.07 Физика конденсированного состояния  
Адрес: 443022, г. Самара, Гаражный проезд,  
E-mail: office@npcsamara.ru.  
Телефон: 8 (846) 932-03-23.

24.08.2022

Подпись С.С. Петрова

Управляющий ООО «НПЦ «Самара»  
(подпись)

А.В. Максимук

