

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Феоктистовой Марины Валерьевны

«Влияние химического состава и структурных факторов на коррозионную стойкость низколегированных сталей в водных средах»,

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»

Диссертационная работа Феоктистовой М.В. посвящена сложной и неоднозначной на сегодняшний момент проблеме повышения стойкости стальной металлопродукции против общей и локальной коррозии в нейтральных средах. Данному вопросу в литературе уделено большое внимание ученых, но до сих пор нет единого мнения касательно влияния химического состава, особенно структурных факторов на данный вид коррозионного повреждения. Благодаря исследованиям взаимосвязи неметаллических включений с коррозионной стойкостью низколегированных сталей разработан экспресс метод выявления так называемых коррозионно-активных неметаллических включений (КАНВ) и разработаны технологии производства сталей, чистых по КАНВ. При этом на практике иногда оказывается, что чистота по КАНВ не всегда может обеспечить коррозионную стойкость металлопродукции в различных водных средах. Предполагается, что другие структурные факторы, включая химический состав сталей, могут оказывать непосредственное воздействие. В связи с вышесказанным диссертационная работа Феоктистовой М.В. является особо **актуальной**, а ее результаты интересны не только разработчикам сталей, но также производителям и потребителям стальной металлопродукции.

Цель работы заключалась в установлении закономерностей влияния химического состава и структурных характеристик низколегированных сталей на их коррозионную стойкость в водных средах, а также разработка способов повышения коррозионной стойкости путем оптимизации химического состава и технологических режимов производства стали.

Для достижения поставленной цели диссертанту пришлось решить следующие задачи:

- установить закономерности влияния химического состава, в том числе содержание хрома, никеля и меди на коррозионную стойкость низколегированных сталей в водных средах, характерных для различных условий эксплуатации;

- исследовать механизмы влияния выделений избыточных фаз, формирующихся с участием микролегирующих элементов, на коррозионную стойкость сталей в водных средах и разработать требования к характеристикам указанных выделений для предупреждения их отрицательного влияния на коррозионную стойкость;

- разработать требования к содержанию элементов, входящих в состав выделений избыточных фаз, в том числе микролегирующих элементов и углерода, а также к технологическим режимам прокатного передела для предупреждения формирования выделений неблагоприятной морфологии;

- разработать и опробовать рекомендации по химическому составу и технологическим параметрам производства стального проката повышенной коррозионной стойкости.

**Структура и основное содержание работы.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов и библиографического списка литературы. Работа содержит 175 страниц машинописного текста, 79 рисунков, 46 таблиц и списка литературы из 115 источников отечественных и зарубежных авторов.

Построение работы с точки зрения проведения исследований выполнено грамотно. Для постановки цели и задач проведен обширный литературный анализ. Исследования автором выполнены при использовании методов математического планирования эксперимента, что позволяет значительно сократить количество экспериментов. Основные результаты получены на лабораторном металле и подтверждены в промышленных условиях. Диссертация написана хорошим научно-техническим языком. Автореферат полностью отражает содержание и результаты диссертационной работы. Основные положения диссертации обсуждены на 4 конференциях и отражены в 5 печатных работах в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК РФ. Следует отметить, что результаты научно-исследовательской работы отмечены дипломом Лауреата конкурса «Молодые ученые», который проводился в рамках ежегодной международной промышленной выставки «Металл-Экспо 2016».

**Во введении** рассматриваемой диссертационной работы обоснована актуальность проблемы, сформулирована цель и задачи исследования, ее научная новизна, практическая значимость, а также основные положения, выносимые на защиту.

**Первая глава** диссертации посвящена аналитическому обзору отечественной и зарубежной литературы по вопросам защиты от коррозии стальных изделий и оборудования, предназначенных для работы в водных средах, в том числе при контакте с влажной атмосферой, в условиях эксплуатации нефтепромысловых трубопроводов и в морской воде. Диссертантом показано, что в литературе отсутствуют четкие представления о характере и механизмах влияния химического состава и структурных характеристик сталей на их коррозионную стойкость. Многие исследователи признают положительное влияние на коррозионную стойкость сталей легирование хромом, никелем и медью. Однако рекомендации по необходимому сочетанию указанных элементов и их оптимальному содержанию, в зависимости от условий эксплуатации, противоречивы. Практически не изучены вопросы влияния характеристик выделений избыточных фаз с участием микролегирующих элементов (титана, ниобия и ванадия) различного размера на коррозионную стойкость стали. В результате выполненного аналитического обзора сформулирована цель и задачи исследований.

**Вторая глава посвящена** описанию материалов и методов исследования, которые проводили в ходе выполнения рассматриваемой диссертационной работы. Для сокращения объема экспериментов использовались методы математического планирования. Исследования выполнены на 13 лабораторных и 9 промышленных плавках. В диссертационной работе использовались следующие методы: металлографические исследования микроструктуры и загрязненности неметаллическими включениями с применением оптической микроскопии (ОМ), исследование состава неметаллических включений с использованием сканирующей, а выделений избыточных фаз – просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ), комплексные коррозионные испытания несколькими методами, механические испытания на разрыв, статистический анализ влияния химического состава сталей на их свойства, а также расчеты температурно-концентрационных областей существования избыточных фаз.

**В третьей главе** рассмотрено влияние химического состава на формирование структуры, механических и коррозионных свойств сталей лабораторной выплавки. Весь исследованный металл характеризуется феррито-перлитной мелкозернистой структурой со средним размером зерна 8-12 мкм. Показано, что стали лабораторных плавов в зависимости от химического состава обладают механическими свойствами классов прочности от К52 до К60 за исключением стали с содержанием 0,04%С, 0,42%Cr, 0,12%Cu, свойства которой соответствует К48.

Проведены исследования сталей по методикам СТО 00190242-001-2008 «Методика определения стойкости углеродистых и низколегированных сталей против локальной коррозии», характеризующей в большей степени стойкость против локальной коррозии, и «Методика определения коррозионной стойкости углеродистых и низколегированных сталей и изделий из них путем измерения плотности тока насыщения анодного растворения стали в коррозионной среде электрохимическим методом» (методика ИПТ), характеризующей стойкость против общей коррозии.

На основании полученных результатов сделан вывод о положительном влиянии легирования хромом на стойкость против общей и локальной коррозии, медью – против локальной коррозии, а никелем – против общей коррозии.

Корреляционный и регрессионный анализ влияния химического состава на показатели коррозионной стойкости подтвердил положительное влияние повышенного содержания хрома и меди, а также установил влияние содержания алюминия в стали на коррозионную стойкость.

Исследование, выполненное с применением ПЭМ, показало, что частицы размером менее 1нм могут приводить к снижению коррозионной стойкости низколегированных сталей.

**Четвертая глава** посвящена исследованию влияния характеристик структуры на коррозионную стойкость сталей промышленных плавов с содержанием углерода 0,10...0,145%, марганца 1,4...1,5%, микролегированных титаном, ниобием и ванадием в различных сочетаниях и сталей лабораторной выплавки с высоким содержанием углерода 0,175...234%.

Проведенные коррозионные испытания по методике ИПТ с последующим исследованием на ПЭМ подтвердили возможность обеспечения высокой коррозионной стойкости стали путем легирования хромом и медью. Показано отрицательное влияние на коррозионную стойкость выделений избыточных фаз микролегирующих элементов, которое усиливается с уменьшением размеров частиц. Установлено, что для стали с высоким содержанием углерода, при сравнительно низкой концентрации титана (0,01%) вклад наноразмерных выделений в снижение коррозионной стойкости может составлять 35...50%, что существенно больше, чем для сталей с меньшим содержанием углерода.

Автором работы показано, что для обеспечения коррозионной стойкости в водных средах сталей с высоким содержанием углерода (0,15% и более) необходимым условием является отсутствие микролегирования. Для предупреждения формирования большого количества наноразмерных выделений, снижающих коррозионную стойкость, требуется ограничить содержание углерода (не более 0,1%) и обязательно добавлять в металл титан совместно с ниобием. Основными структурными факторами, которые, помимо КАНВ, приводят к снижению коррозионной стойкости стали, является ферритно-перлитная полосчатость и наноразмерные выделения карбонитридных (карбидных) фаз.

Снижение коррозионной стойкости стали за счет повышения доли мелкодисперсных выделений диссертант связывает с тем, что при микролегировании титаном совместно с ниобием в процессе нагрева под прокатку и самой горячей прокатки образуется достаточное количество субмикронных выделений карбонитридов, которые являются подложками для осаждения на них частиц, формирующихся при более низких температурах, в том числе наноразмерных. При этом уменьшается количество обособленных наноразмерных выделений, снижающих коррозионную стойкость.

Для исследованных в диссертационной работе сталей с содержанием углерода 0,10...0,145% повышение балла полосчатости феррито-перлитной структуры до 3 приводит к снижению коррозионной стойкости в большей степени, чем наноразмерные выделения.

**В заключительной пятой главе** рассматриваются результаты исследования металла опытно-промышленной партии повышенной коррозионной стойкости для нефтепромысловых трубопроводов, произведенных в соответствии с разработанными рекомендациями по химическому составу и структурному состоянию.

Проведены комплексные исследования микроструктуры с применением ОМ и ПЭМ, механических и коррозионных свойств. Оценку коррозионной стойкости выполняли по методике ИПТ и при динамических испытаниях в движущейся среде – имитаторе пластовой воды.

Полученные результаты исследования опытно-промышленного металла свидетельствуют о высокой коррозионной стойкости проката из стали выбранной системы микролегирования. Разработанные рекомендации по оптимальному химическому составу планируются к внедрению в производство сталей повышенной коррозионной стойкости нефтепромыслового назначения.

**Научная новизна диссертационной работы.** В результате проведения комплексных исследований влияния химического состава и структурных характеристик низколегированных сталей на их коррозионную стойкость в водных средах получены новые результаты. Впервые показано, что наноразмерные выделения избыточных фаз, вызывающие повышенный уровень напряжений в структуре стали, способствуют разрушению защитных пленок продуктов коррозии (хрома, никеля и меди) на поверхности металла.

Установлено, что повышение содержания углерода до 0,25% и более не приводит к снижению коррозионной стойкости стали для нефтепромысловых трубопроводов, при отсутствии в ней микролегирующих элементов. В морских условиях, отличающихся более высоким содержанием хлор-ионов, а также свободным доступом кислорода, к повышению коррозионной стойкости приводит снижение содержания в стали углерода.

Показано, что обеспечение высокой коррозионной стойкости в водных средах сталей с содержанием углерода 0,15% и более возможно только при отсутствии микролегирования. Для микролегированных сталей условиями предупреждения формирования большого количества наноразмерных выделений неблагоприятной морфологии, снижающих коррозионную стойкость в водных средах, являются ограничение содержания углерода (не более 0,10%) и обязательное микролегирование титаном совместно с ниобием.

**Практическая значимость работы** заключается в разработке требований к химическому составу и к структурному состоянию микролегированных сталей,

обеспечивающих их высокую коррозионную стойкость в водных нефтепромысловых средах, а также рекомендаций к технологическим параметрам производства проката в промышленных условиях для повышения коррозионной стойкости сталей нефтепромыслового назначения.

**Достоверность полученных в работе результатов** не вызывает сомнений и подтверждается исследованиями, выполненными на аттестованном оборудовании с применением современной исследовательской техники, сходимостью результатов исследований, проведенных различными методами. Выводы работы соответствуют поставленным задачам исследования.

По рассматриваемой диссертационной работе можно сделать **незначительные замечания:**

1. В автореферате отсутствует таблица с полученными механическими свойствами исследованных сталей различного химического состава, что осложняет восприятие результатов работы.

2. В автореферате на стр. 8 сказано «... механические испытания проводили в соответствии с ГОСТ 1497-84 и ГОСТ 9454-78...». Во второй главе диссертации на стр. 66 говорится «Испытания проводили в соответствие с ГОСТ 1497-84». При этом в пятой главе работы все же приводятся результаты динамических испытаний на ударный изгиб опытно-промышленной партии металла. Сразу напрашивается вопрос – почему аналогичные испытания не выполнили для лабораторного металла?

3. В диссертационной работе содержится 175 страниц машинописного текста, а не 177; 115 источников, а не 116; 46 таблиц, а не 38 как сказано в автореферате на стр. 6.

4. В пункте 2 научной новизны говорится, что «в морских условиях ... к повышению коррозионной стойкости приводит снижение содержания в стали углерода». Данный пункт констатирует факт, выявленный в ходе проведения исследований, но никак не описывает самого механизма влияния углерода. В формулировке пункта 3 научной новизны не понятно карбиды, каких именно микролегирующих элементов, оказывают влияние на коррозионную стойкость стали. В пункте 4 научной новизны не совсем понятно, что именно автор подразумевает под понятием «неблагоприятная морфология». Формулировка научной новизны должна точно и ясно отражать выявленный в ходе проведения исследований новый научный факт.

5. Во второй главе диссертации автор работы делает ссылку под номером 107 на усовершенствованную версию термодинамической компьютерной модели равновесного фазового состава сталей. А в списке используемой литературе под данным номером значится зарубежная статья 1978 года. В той же второй главе диссертант делает ссылку под номером 111 на методику ИПТ. Однако в списке используемой литературы под указанным номером значится статья по совсем другой теме. Наблюдаются и повторение ссылок, например, ссылка 106 и 116, ссылка 104 и 111 являются одними и теми же источниками.

6. Из текста диссертационной работы не понятно, почему механические испытания на разрыв проводились лишь для сталей лабораторных плавок Л1-Л8, а для остальных сталей (Л9-Л13) выполнены не были.

7. В главе 3, полностью посвященной исследованию лабораторного металла обособленно стоит пункт 3.5 «Исследование сталей промышленных плавок». Более

логичным было переместить его в главу 4, а из главы 4 пункт 4.2 «Исследование сталей лабораторной выплавки с высоким содержанием углерода» – в главу 3.

8. Из текста работы не ясно, почему коррозионным испытаниям по СТО 00190242-001-2008 подвергались лишь лабораторные плавки Л1-Л8, а остальные по данной методике не исследовались.

9. В выводе 2 главы 3 диссертационной работы сказано, что эффективность легирования хромом, никелем и медью определяется не только их концентрацией, но и присутствием в структуре неблагоприятных компонентов ... в частности феррито-перлитной полосчатостью. В данной главе исследовались стали лабораторных плавки, в которых балл полосчатости был одинаковый. Не совсем понятно, из каких соображений делается такой вывод.

10. На стр. 52 диссертации в описании и в таблице 2.5 перепутаны местами сталь маркировки П2 и П3. Таблица 5.1 работы называется «режимы горячей прокатки и механические свойства сталей...», хотя в ней приводятся только значения механических свойств без самих режимов прокатки. Подрисовочные надписи к рис. 1.3, 2.2 съехали на другие страницы. Расположение табл. 1.6, 3.10 выбрано не удачно. На стр. 48, 76, 115, 116, 118, 125, 145, 152, 155, 158 диссертант оставляет слишком много пустого места.

Сделанные замечания не снижают положительной оценки работы, так как не затрагивают ее основные положения и полученные в диссертации результаты.

Работа Феокистовой М.В. выполнена на хорошем научно-техническом уровне и отвечает требованиям п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней (Постановление Правительства Российской Федерации от 24.09.2013г. №842), а сам автор заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Официальный оппонент:

Главный специалист по металловедению  
и термообработке

Инженерно-технологического центра  
АО «ВМЗ», кандидат технических наук  
607060, Нижегородская обл., г. Выкса  
ул. Братьев Баташевых, д.45  
тел.: +7(83177)-9-54-49,  
E-mail:naumenko\_vv@vsw.ru

подпись

Науменко Виталий Владимирович

«22» 06 2018г.

Подпись Науменко В.В. заверяю:  
Директор Инженерно-технологического центра,  
АО «ВМЗ», к.т.н.

подпись

Степанов Павел Петрович

«22» 06 2018г.

