

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Мазничевского Александра Николаевича

на диссертационную работу

Ускова Дмитрия Петровича

«Повышение эксплуатационных свойств высокопрочных комплекснолегированных сталей для обсадных труб в хладостойком и коррозионно-стойком исполнениях»

представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1 - «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»

Актуальность темы исследования. Современная нефтегазовая промышленность, по мере истощения относительно легкодоступных углеводородов из верхних пластов земной коры, всё чаще сталкивается с необходимостью увеличения как глубины разработки, так и разработки труднодоступных месторождений Северных и Арктических регионов страны. Это требует повышения эксплуатационных свойств скважинного оборудования, в частности обсадных и насосно-компрессорных труб. Настоящее исследование фокусируется на изучении прочности, пластичности, хладостойкости и стойкости к сульфидному коррозионному растрескиванию под напряжением хромомолибденовых сталей, микролегированных ванадием и ниобием. Важным аспектом работы является разработка оптимального химического состава и режимов термической обработки высокопрочных труб, стойких к низким температурам и агрессивным условиям эксплуатации.

Таким образом, исследование комплекснолегированных сталей для обсадных труб в хладостойком и коррозионностойком исполнениях, имеет важное значение для современной нефтегазовой промышленности, представляет научный интерес и является актуальной задачей.

Структура и основное содержание работы. Диссертационная работа Ускова Д.П., изложенная на 157 страницах машинописного текста, состоит из введения, 5 глав, заключения и списка использованных источников из 103 наименований, а также 3 приложений. Диссертация содержит 77 рисунков и 42 таблицы. В приложениях приведены термокинетические диаграммы распада переохлажденного аустенита для сталей 26ХМ-1, 26ХМ-2, 26ХМ-3, 26ХМБ, 26ХМФ и 26ХМФБ, альбом с микрофотографиями величины зерна аустенита, микроструктуры после закалки и высокого отпуска, фрактографии поверхности разрушения ударных образцов, а также акта об использовании результатов работы для производства обсадных труб Ø 244,48×13,84 мм на АО «ВТЗ».

Во введении обоснована актуальность и описана степень разработанности темы диссертационного исследования, кратко изложено содержание работы, сформулированы цель и задачи, представлены научная новизна и практическая значимость, а также основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе выполнен литературный обзор, который охватывает теоретические основы хладостойкости (хладноломкости) и коррозионной стойкости сталей. Анализируются методы оценки хладостойкости, включая изучение ударной вязкости путем построения сериальных кривых и характера разрушения стали при низких температурах. Коррозионная стойкость рассматривается в контексте взаимодействия стали с сероводородсодержащими средами, а также обсуждаются различные типы коррозии, включая общую и локальную коррозию. Особое внимание уделяется повышенным требованиям к комплексу свойств стали, связанных с эксплуатационными особенностями нефтегазовых скважин. Рассмотрено использование обсадных труб в нефтегазовой отрасли и особенно в условиях Крайнего Севера и при высоком содержании CO_2 и H_2S в сравнении с зарубежными аналогами, а также опыта изготовления похожих сталей на отечественных предприятиях (АО «ВТЗ», АО «СинТЗ», АО «Тагмет», АО «СТЗ» и АО «ПНТЗ»).

Во второй главе представлен обзор материала и методов исследования, используемых для анализа структуры стали, критических точек (температур), механических свойств и стойкости к коррозионному растрескиванию под напряжением. В ходе исследований было задействовано разнообразное современное оборудование, включая оптические и электронные микроскопы, систему физического моделирования термомеханических процессов марки Gleeble-3800, дифрактометр, а также машины для испытания механических свойств и контроля ударной вязкости.

В третьей главе диссертации рассматривается влияние легирования на свойства высокопрочных сталей (типа 26ХМ, микролегированных ванадием и ниобием) в хладостойком исполнении. Подчеркивается важность обеспечения структуры сорбита отпуска при термической обработке стали. Приводятся результаты экспериментальных исследований, в том числе термокинетические диаграммы распада переохлажденного аустенита, а также анализ влияния микролегирования на размер зерна, структуру (в том числе тонкую) и механические свойства. Особое внимание уделяется анализу ударной вязкости сталей при различных температурах и установлению оптимального химического состава для получения требуемого комплекса свойств.

В четвертой главе исследуются структура и свойства опытно-промышленных сталей с категорией прочности С110 ($\sigma_{0,7}$ не менее 758 МПа) в коррозионностойком исполнении (в сероводородсодержащей среде). Автор выделяет два варианта химического состава 26ХМФБ-1 (базовый состав) и 26ХМФБ-2 (оптимизированный состав по результатам расчётов в ThermoCalc). Важными отличиями в химическом составе стали 26ХМФБ-2 являются сниженное содержание хрома, а также повышенное содержание молибдена и ванадия в сравнении со сталью 26ХМФБ-1. В результате проведенных экспериментов установлено, что сталь 26ХМФБ-2 по всем сравниваемым параметрам (величина зерна аустенита, стойкость к коррозии под напряжением, механические свойства и ударная вязкость) превосходит сталь 26ХМФБ-1. Данное преимущество реализуется за счёт уменьшения доли карбидов $Me_{23}C_6$ и преобладания в структуре карбидов MeC . Таким образом, исходя из полученных результатов, становится возможным использование стали 26ХМФБ-2 для обсадных труб с категорией прочности Q125 ($\sigma_{0,65}$ не менее 862 МПа) по API 5CT.

В пятой главе приведены результаты опытно-промышленного опробования разработанных сталей взамен серийной 25ХМ1ФБА для производства высокопрочных обсадных труб с повышенными эксплуатационными свойствами в условиях АО «ВТЗ». Анализируется технология получения труб с пределом текучести 862 МПа и 758 МПа из непрерывнолитой заготовки. Оценена экономическая целесообразность использования новых марок стали взамен серийных (себестоимость трубной заготовки меньше на 13,5 % на тонну).

В заключении представлены основные выводы и результаты работы, отмечены успехи в реализации положений диссертационной работы в производственных условиях АО «ВТЗ».

В работе получены результаты, имеющие **научную новизну**:

- показано положительное влияние молибдена на стойкость высокопрочных трубных сталей к сульфидному коррозионному растрескиванию под напряжением за счет повышения устойчивости переохлажденного аустенита с формированием преимущественно мартенситной структуры при закалке и замедления роста карбидов типа Me_3C при отпуске, что позволяет проводить его максимально близко к температуре A_{c1} с достижением заданной прочности при низкой плотности дислокаций, снижая чувствительность к водородному охрупчиванию;

- установлено необходимое количество молибдена для легирования трубных сталей с пределом текучести более 758 МПа в хладостойком до температур эксплуатации минус 60 °С исполнении (0,30÷0,35 мас. %) и в коррозионностойком исполнении с пороговым напряжением 85 % от минимально нормируемого предела текучести в водном растворе, насыщенном сероводородом, (0,70÷0,80 мас. %);
- определено влияние микролегирующих добавок на микроструктуру и свойства среднеуглеродистых хромомолибденовых сталей после улучшающей термообработки, при этом ниобий в количестве 0,02÷0,03 мас. % позволяет получить наследственное аустенитное зерно не более 12 мкм и повысить стойкость к разрушению как при пониженных температурах, так и в средах, насыщенных сероводородом, а ванадий в количестве 0,03÷0,05 мас. % способствует повышению прочности, но снижает ударную вязкость;
- показано, что требуемая стойкость к сульфидному растрескиванию под напряжением достигается в сталях, легированных 0,70÷0,80 мас. % молибдена, с 0,02÷0,04 мас. % ниобия и 0,03÷0,05 мас. % ванадия благодаря формированию после закалки с температур $A_{c3}+(50\div 60)$ °С и отпуска при температурах 680÷700 °С с продолжительностью не менее 1,5 часа мелкодисперсной однородной микроструктуры, обладающей минимальной плотностью дислокаций, с субмикронными частицами цементита, легированного молибденом и хромом, и наноразмерными специальными карбидами на основе ниобия и ванадия.

Теоретическая и практическая значимость

На основании результатов исследования разработан химический состав стали и режим термической обработки, позволившие впервые в отечественной практике произвести бесшовные горячедеформированные трубы группы прочности С110 в коррозионностойком и группы прочности Q125 в хладостойком исполнениях, предназначенных для обустройства нефтяных скважин, работающих в средах, содержащих сероводород, и в условиях Крайнего Севера в соответствии с современными требованиями, обеспечив полное импортозамещение в данном сегменте.

Результаты работы использованы при разработке стандарта СТО ТМК 56601056-0022-2011(ред.3) «Трубы стальные бесшовные для нефтяной и газовой промышленности и общего назначения» (Унифицированные химические

составы сталей). Данный стандарт устанавливает требования к химическому составу сталей для производства труб на предприятиях Группы ТМК.

Внедрение результатов работы позволило за период с 2018 по 2022 год выпустить более 20 тыс. т. обсадных труб в хладостойком исполнении и более 5 тыс. т. высокопрочных труб в коррозионностойком исполнении, что обеспечило суммарный экономический эффект свыше 325 млн. руб.

Достоверность подтверждается большим объемом теоретических и экспериментальных исследований, выполненных с применением современного программного обеспечения и оборудования, а также положительные результаты внедрения результатов исследования в производство бесшовных труб, предназначенных для обустройства обсадных колонн в условиях Крайнего Севера и на шельфовых месторождениях.

По диссертационной работе есть следующие вопросы и замечания:

1. При проведении оценки хладостойкости опытных сталей, автором было зафиксировано резкое снижение ударной вязкости и доли вязкой составляющей у сталей 26ХМФ и 26ХМФБ (стр. 72-73, рис. 23, табл. 20) при температурах ниже минус 40 °С. Состав стали 26ХМФБ является близким к составу опытно-промышленной плавки стали 26ХМФБ-1 (стр. 53, табл. 14 и 15), которая, в свою очередь, при серийных испытаниях показала удовлетворительный уровень ударной вязкости (стр. 113, рис. 49). Чем можно объяснить такое противоречие?
2. Исходя из результатов исследования сталей 26ХМФБ-1 и 26ХМФБ-2 (глава 4) можно сделать вывод, что сталь 26ХМФБ-2 имеет преимущество над сталью 26ХМФБ-1 не только по коррозионной стойкости, но и по механическим свойствам и ударной вязкости. Однако в пятой главе, подраздел 5.1 (стр. 107, табл. 26) состав стали, обозначенной как 26ХМФБ (код 4460-6) соответствует составу стали 26ХМФБ-1, и только в подразделе 5.2 (стр. 115, табл. 32) используется сталь 26ХМФБ-2. К чему такое разделение, почему в первом случае не использовалась сталь 26ХМФБ-2?
3. При оценке коррозионной стойкости к сероводородсодержащей среде, а также коррозии под напряжением (главы 4 и 5) сравнительный анализ выполнен только между разработанными сталями 26ХМФБ-1 и 26ХМФБ-2, без анализа сталей, которые уже используются в промышленности согласно литературного обзора к теме исследования (раздел 1.4).

Общее заключение

Вышеуказанные недостатки не снижают научной и практической ценности результатов представленного диссертационного исследования и не оказывают существенного влияния на общую положительную оценку выполненной работы. В целом диссертационная работа Ускова Дмитрия Петровича выполнена на современном научно-техническом уровне и представляет собой законченное исследование.

Основные результаты работы доложены и обсуждены на трёх научно-практических конференциях и опубликованы в 11 научных работах, в том числе 4 публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Автореферат соответствует содержанию диссертации, содержит научную новизну, практическую значимость, выводы по диссертационной работе. Материалы диссертации соответствуют заявленному паспорту специальности 2.6.1 - «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Считаю, что диссертационное исследование «Повышение эксплуатационных свойств высокопрочных комплекснолегированных сталей для обсадных труб в хладостойком и коррозионно-стойком исполнениях» полностью соответствует требованиям, сформулированным в п. 9 Положения о присуждении учёных степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, и предъявляемым требованиям на соискание учёной степени кандидата технических наук, а сам автор Усков Дмитрий Петрович заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1 - «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Официальный оппонент:

Технический директор, ООО «Ласмет»

кандидат технических наук

05.16.01 «Металловедение и термическая
обработка металлов и сплавов»

Мазничевский Александр Николаевич



Мазничевский А.Н.

« 14 »

03

2024 г.

Адрес: 454047, Российская Федерация, Челябинская область, г. Челябинск,
ООО «Ласмет», ул. 2-я Павелецкая, д. 18,
e-mail: al.mazn@ya.ru, тел. +7 (351) 735-97-12

Я, Мазничевский Александр Николаевич, согласен на автоматизированную
обработку персональных данных, приведенных в этом документе

Подпись заверяю
Главный бухгалтер



Рябухина Т.А.