



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки

**ИНСТИТУТ МЕТАЛЛУРГИИ
И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ**
им. А.А. Байкова
Российской академии наук
(ИМЕТ РАН)

119334, г. Москва, Ленинский пр., 49
Тел. +7 (499) 135-20-60, факс: +7 (499) 135-86-80
E-mail: imet@imet.ac.ru <http://www.imet.ac.ru>
ОКПО 02698772, ОГРН 1027700298702
ИНН/КПП 7736045483/773601001

Екатеринбург, ул. Мира, 19,
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего обра-
зования «Уральский федеральный универ-
ситет имени первого Президента России Б.
Н. Ельцина»,
Институт новых материалов и технологий

Ученому секретарю диссертационного
совета

№ 12202- _____
На № _____ от _____

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора технических наук, доцента, ведущего научного сотрудника
лаборатории «Физикохимии и механики металлических материалов» ИМЕТ РАН
Костиной Марии Владимировны на диссертационную работу
Гусева Алексея Антоновича

**«ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРНО-ФАЗОВОГО СОСТОЯНИЯ И СВОЙСТВ
КОРРОЗИОННО-СТОЙКИХ СТАЛЕЙ МАРТЕНСИТНОГО И ПЕРЕХОДНОГО
КЛАССОВ ДЛЯ ВЫСОКОПРОЧНЫХ ТРУБ»**

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности 2.6.17 «Материаловедение»

Диссертационная работа Алексея Антоновича Гусева выполнена в рамках поиска ва-
риантов решения актуальной прикладной научной проблемы материаловедения – увеличе-
ния эксплуатационной надежности труб, используемых при нефте- и газодобыче, за счет по-
вышения их прочностных свойств и коррозионной стойкости к углекислотной коррозии при
эксплуатации в области максимальных температур процесса нефте- и газодобычи. Диссер-
тант обосновал возможность решения данной проблемы за счёт увеличения содержания в
трубных сталях легирующих элементов, влияющих на фазовый состав, структуру, прочност-
ные и коррозионные свойства - хрома, также никеля и молибдена.

установлено влияние режимов термической и деформационной обработки на свойства изученных сталей.

Работа имеет **научную значимость** как источник новых знаний о возможностях регулирования фазового состава, структуры, механических и коррозионных свойств мартенситных коррозионностойких сталей за варьирования в них содержания хрома, никеля, молибдена, меди, ниобия, вольфрама.

Достоверность результатов несомненна и основана на:

- проведении моделирования и экспериментов с применением широкого спектра современных методов и аппарата материаловедения, с получением взаимно согласованных прямых и косвенных результатов (в том числе, например, диссертантом продемонстрировано использование фундаментальных основ металловедения для расчетов вклада частиц избыточной фазы в упрочнение; им использованы моделирование в «Thermo-Calc», выполнены эксперименты на установке «Gleeble», использован прямой метод исследования фазового состава – ПЭМ);

- грамотной обработке и интерпретации полученных результатов, в том числе в сопоставлении с известными литературными данными.

Работа характеризуется **практической значимостью**. Диссертантом предложена, на основе проведенных исследований, более коррозионностойкая, чем аналоги, марка стали 06X17H5M1B, отвечающая современным требованиям промышленности по прочностным свойствам. Имеется «Справка об использовании результатов кандидатской диссертации» на Синарском трубном заводе.

Результаты диссертационной работы прошли **апробацию в научном сообществе**. Основные результаты доложены на конференциях, изложены в трех статьях в журналах, рекомендованных перечнем ВАК и индексируемых в базах данных Scopus/Web of Science.

Вместе с тем, работа не свободна от ряда недостатков. По диссертации можно сделать некоторые **замечания**:

1) В работе присутствует ряд смысловых небрежностей или опечаток. Например, на стр.21 автор пишет: «...позволяет повысить предел текучести до 300 МПа», тогда как речь идет о *приросте* предела текучести до 300 МПа, т.е. о его повышении на величину до 300 МПа.

Там же: «Наибольшее упрочнение медью в ходе старения обеспечивается при высокой степени пересыщения мартенсита». Пересыщения каким элементом? На стр.28: «Отпуск ... ухудшает сопротивление равномерной коррозии, скорость которой превышает выше, чем в закаленном состоянии». На стр. 38, в таблице 1.8 Содержание δ -феррита *в процентах* - минус 180, при изменении содержания углерода на один 1 масс.%. На стр. 56: «Микроструктуру ... определяют ... с применением диаграммы Шеффлера» - не микроструктуру, а фазовый состав. К стр.121: для расчетов использованы данные о физических свойствах, однако в работе не указано, из какого источника они взяты.

2) Диссертантом в выводах к главе 3 ответственными за эффект стабилизации аустенита указываются как медь и никель – элементы - стабилизаторы аустенита, так и элементы-

В Главе 1 выполнен обзор литературы по исследованиям структуры, фазового состава, механических и коррозионных свойств высокохромистых коррозионно-стойких сталей с 13-17% Cr, применяемых в нефтегазовой отрасли.

В Главе 2 на основе анализа литературных данных и требований к механическим свойствам обсадных и насосно-компрессорных стальных труб для нефтяной и газовой промышленности, были сформулированы цель работы и её задачи. Их выполнение позволяет научно обосновать оптимальный состав стали с содержанием 15-17 % хрома и режимы её термической обработки. Также в этом разделе диссертационной работы обоснован состав исследованных материалов и описаны методы их исследований.

Глава 3 посвящена сопоставительному анализу влияния легирования и режимов термической обработки на фазовый состав и механические свойства однофазной мартенситной стали с 13% Cr, двухфазных мартенситно-аустенитных и мартенситно-ферритных сталей с 15-17% Cr, 4-7% Ni, добавками Mo, W, Cu. С использованием оценки фазового состава на основе термодинамического моделирования («Thermo-Calc»), диаграмм Шеффлера и Потака-Сагалевиц, рентгеноструктурного фазового анализа, исследований микроструктуры, измерений твердости, испытаний механических свойств выявлены фазовый состав в интервале температур до 500°C, критические точки и на этой основе сделаны выводы об оптимальных температурах горячей пластической деформации, выбраны температуры нагрева под закалку и для отпуска, обеспечивающие заданные сочетания прочностных и пластических свойств. Изучены структуры сталей после выбранных температур отпуска. Оценен эффект использования многоступенчатой термической обработки для сталей аустенитно-мартенситного класса с различным содержанием остаточного аустенита.

Глава 4 посвящена расчетному и экспериментальному изучению влияния вариаций химического состава (легирование Ni, Mo, V, Nb, Cu) и термической обработки мартенситных сталей на основе 15-17 % Cr на их структурно-фазовое состояние, критические точки, механические свойства. При исследованиях микроструктуры были, в том числе, выявлены и идентифицированы частицы избыточных фаз, установлены их размер и морфология. Сделаны расчетные оценки: - фазового состава (термодинамически равновесного, а также с использованием диаграммы Потака-Сагалевиц); - влияния выделения при отпуске частиц карбидов MeX и Me₂₃C₆ и ε-фазы на основе меди на прирост предел текучести, с использованием моделей Орована, а также Мотта и Набарро, соответственно. На основе этих исследований, а также измерений твердости после различных режимов закалки и отпуска, испытаний механических свойств после отпуска, выявлены механизмы и закономерности упрочнения и разупрочнения изученных сталей в зависимости их легирования.

Глава 5 имеет предметом рассмотрения коррозионную стойкость сталей с 15-17 % Cr. В ней, в том числе, убедительно продемонстрирован положительный эффект предложенного варианта дополнительного легирования изученных сталей хромом и молибденом для повышения стойкости к углекислотной коррозии.

Работа характеризуется научной новизной. Диссертантом выявлено (на основе собственных экспериментов) влияния легирования двухфазных и мартенситных сталей на их фазовый состав и структуру, прочностные характеристики и коррозионную стойкость,

ферритообразователи (хром, молибден и вольфрам). В то же время известно, что вклад легирующих элементов в стабилизацию аустенитной, либо ферритной фазы достаточно хорошо описывается формулами никелевого и хромового эквивалентов аустенито- и ферритообразования модифицированной диаграммы Шеффлера-Делонга. Известны также эмпирические формулы расчета температуры начала образования мартенсита. Можно было бы, например, оценить влияние элементов феррито- и аустенитообразователей через зависимости M_n и % остаточного аустенита от соотношения этих эквивалентов, использовать указанные формулы для расчетной оценки температуры M_n .

3) Есть ряд вопросов, касающихся выбора режимов закалки и отпуска. На стр. 66, в заголовке к таблице 3.3. речь идет о влиянии температуры отпуска на механические свойства, однако не указано, после закалки по какому режиму. Не ясно, на чем основан выбор температурно-временных режимов закалки и отпуска.

4) К стр.74: не ясно, почему после многоступенчатой термической обработки стали 2 и 3 так сильно отличаются друг от друга по прочностным свойствам, из-за разницы в количестве остаточного аустенита, при том, что эти стали достаточно близки по химическому составу и, согласно диаграмме Потока-Сагалевиц, и по фазовому составу.

5) Есть вопросы к разделу по коррозии.

- На чем основано предположение (на стр.129), что «...высокохромистые стали мартенситного класса с пределом прочности более 860 МПа и пределом текучести более 760 МПа, должны иметь высокую коррозионную стойкость при воздействии различных модельных сред, содержащих диоксид углерода, в широком диапазоне температур и высоком давлении»?

- Показатели стойкости к питтинговой коррозии PREN и MARC достаточно широко известны. Было бы целесообразно сопоставить полученные диссертантом экспериментальные данные с расчетными, по формулам PREN и MARC. К сожалению, оно отсутствует.

- Как отмечено на стр. 138, «микроструктура стали с 17 % хрома включает значительное количество частиц вторичных фаз, размеры которых могут достигать более 0,5 мкм (NbC), так и не превышать 50 нм (ϵ -Cu). Карбиды облегчают развитие локальной коррозии, создавая микророговчатую пару, где выступают в качестве катода, а мартенсит является анодом». В чем тогда причина выбора, по итогам работы, стали, легированной 17%Cr и ниобием?

б) Рекомендованная к внедрению сталь марки 06X17H5M1Б не входит, строго говоря, в число изученных в работе сталей. Поэтому в работе не хватает некоего раздела, который, в качестве «результатирующего вектора» обосновал данную марку стали – её состав, обработку, содержал бы сведения об испытаниях именно данной марки стали и полученных свойствах.

7) В разделе «Научная новизна» диссертант указывает, что «Легирование высокохромистых сталей мартенситного класса молибденом и ниобием способствует увеличению ударной вязкости ... и предела текучести ...после высокого (более 620 °С) отпуска». Это положение не ясно, т.к.: - легирование ниобием, за счет упрочнения карбидами ниобия будет повышать прочность, но одновременно снижать ударную вязкость, что хорошо известно; - не указан механизм влияния молибдена на ударную вязкость.

Оценивая диссертацию в целом, можно заключить, что работа выполнена на высоком научно-техническом уровне, с представлением достоверных и взаимно-согласованных результатов, отвечающих понятиям современного материаловедения, качественно оформлена и прошла апробацию, выполнена в рамках решения поставленных задач. Цель работы достигнута. Автореферат отражает основные положения диссертации.

Заключение по диссертации. Рассматриваемая диссертационная работа Гусева Алексея Антоновича «Особенности структурно-фазового состояния и свойств коррозионно-стойких сталей мартенситного и переходного классов для высокопрочных труб» представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 «Материаловедение» является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, обладающей научной новизной, имеющей существенную практическую значимость для Российской промышленности.

Тема и содержание диссертации соответствуют паспорту специальности 2.6.17. Материаловедение (технические науки). Диссертация соответствует требованиям пункта 9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ, а ее автор, Гусев Алексей Антонович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение (технические науки).

Официальный оппонент:

Доктор технических наук, доцент, в.н.с.

Лаборатории физикохимии и механики металлических материалов

Федерального государственного бюджетного учреждения науки

Институт металлургии и материаловедения

им. А.А. Байкова Российской академии наук

(ИМЕТ РАН)

Костина Мария Владимировна

«08» 05 2024 г.

Подпись М.В. Костиной заверяю,

Зам. директора ИМЕТ РАН



Юсуфов Владимир Сабитович