

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации МУШНИКОВОЙ СВЕТЛАНЫ ЮРЬЕВНЫ
«СОПРОТИВЛЕНИЕ КОРРОЗИОННОМУ РАСТРЕСКИВАНИЮ И КОРРОЗИОННАЯ
СТОЙКОСТЬ В МОРСКИХ УСЛОВИЯХ ВЫСОКОПРОЧНЫХ АЗОТСОДЕРЖАЩИХ
АУСТЕНИТНЫХ СТАЛЕЙ», представленной на соискание ученой степени доктора
технических наук по специальности 2.6.17 – Материаловедение (технические науки)

Актуальность представленной диссертационной работы, посвященной изучению свойств аустенитных сталей с азотом не вызывает сомнений. В настоящее время показано, что азотсодержащие стали способны к значительному повышению прочностных характеристик до уровня высокопрочных низколегированных сталей за счет применения различных режимов термических и термомеханических обработок. Кроме того, используя преимущества азота, можно одновременно с упрочняющей способностью обеспечить высокий уровень эксплуатационных коррозионных свойств. Всё это делает их перспективными для использования в качестве конструкционного материала в морских условиях.

На основе критического анализа литературных данных в диссертации поставлены и решены две основные задачи: разработка научных основ прогнозирования коррозионных свойств нержавеющей азотсодержащих сталей аустенитного класса и создание методического и нормативного обеспечения для определения комплекса характеристик коррозионных свойств.

Исследованы стали лабораторной выплавки Cr-Ni-Mn-Mo-композиции с переменным содержанием легирующих элементов (Cr, Ni, Mn, Mo, N) и сталь 04X20H6Г11М2АФБ опытно-промышленных партий. На примере сталей Cr-Mn-Ni-N-Mo-V-Nb-композиции изучено влияние технологии получения сталей (способ выплавки сталей, без использования противодавления азота, режимы закалки, ВТМО, старения, параметры холодной и теплой пластической деформации, а также присутствие в структуре стали δ -феррита) на параметры механических свойств (соотношение значений предела текучести и ударной вязкости), склонности к ПК, КР и МКК.

Наиболее интересными с теоретической и практической точки зрения представляются экспериментальные результаты, показавшие зависимость свойств исследованных аустенитных азотсодержащих сталей от технологического режима их получения или структурного состояния: механических свойств ($\sigma_{0,2}$ -KCV⁺²⁰ – Рис.1); межкристаллитной коррозии (влияние структуры стали X20H6Г11М2АФБ (0,09 %C), полученной по технологии ВТМО, на стойкость к МКК – Рис. 12); питтинговой коррозии (сопоставление скорости ПК в 10 % FeCl₃·6H₂O при 60 °С в течение 24 ч – Рис. 21); коррозионного растрескивания стали 04X20H6Г11М2АФБ в 3,5 % NaCl без поляризации и с катодной поляризацией E=-1,1 В ($\sigma_{0,2}$ -KCV⁺²⁰ – Рис. 28) и сульфидного коррозионного растрескивания в 25% CaCl₂ стали 04X20H6Г11М2АФБ, упрочненных при закалке, ВТМО, холодной деформации и старении в сопоставлении с КР ряда нержавеющей сталей (δ , ψ -T_{исп.} – Рис. 38). Рассмотрено также влияние варьирования концентраций азота и других легирующих элементов во взаимосвязи со структурой и механическими свойствами сталей Cr-Mn-Ni-N-Mo- и Cr-Mn-Ni-N-Mo-V-Nb-композиций. На основе полученных результатов сделаны следующие выводы:

– лучшим комплексом механических свойств нержавеющей сталей аустенитного класса, легированных азотом ($\geq 0,30$ %N), обладают стали после тепловой деформации при 600-650 °С (ЭШП);

– КР и ПК стали 04X20H6Г11М2АФБ значительно интенсифицируются после старения в течение 10-20 часов при 700 °С и теплой прокатки при 800 °С с степенью

НИИ «Курчатовский институт» ЦНИИ КМ «Прометей»	
Вх. № 2399	в ДЕЛО
15.09.2024 г.	№
Осн. 3 л.	

обжата от 11 до 70 %, что обусловлено существенным снижением концентрации азота и хрома в твердом растворе аустенита из-за выделения вторичных фаз. Снижение температуры термической или термомеханической обработки до 350÷650 °С и сокращение времени старения уменьшает склонность к коррозии;

- лучшим комплексом коррозионных характеристик (ПК и КР) обладают стали с чисто аустенитной структурой, после закалки, имеющие высокие значения индекса питтингостойкости $PRE = \%Cr + 3,3 \cdot \%Mo + 16 \cdot \%N$ и не содержащие вторичных фаз (карбидов, нитридов, карбонитридов и δ -феррита);

- положительное влияние на склонность к МКК оказывает структура стали X20H6Г11M2АФБ после ВТМО, что подтверждает положение о создании в этом случае субструктуры с выделением хромсодержащих карбидов преимущественно по границам субзерен, а не на зеренных границах;

- сталь 04X20H6Г11M2АФБ (0,05 %С; 0,49 %N) в соответствии с разработанным критерием стойкости к МКК не проявляет склонности к МКК в состоянии после ВТМО, аустенитизации и тепловой деформации на 11,4 % при 600 °С;

- холодная прокатка стали X20H6Г11M2АФБ со степенью деформации 47 % не вызывает появления склонности к МКК после провоцирующих нагревов продолжительностью до 20 ч, т.к. в этом случае происходят процессы частичного возврата и выделение карбидных и нитридных частиц преимущественно на дислокациях; установлена минимальная концентрация углерода (0,06 %), способная вызвать МКК независимо от содержания элементов-стабилизаторов;

- обоснована необходимость ограничения содержания азота в стали не выше расчетного значения максимальной растворимости, исключая его связывание в нитриды хрома, ванадия и ниобия и снижение стойкости к ПК и КР;

- скорость ПК стали, легированной до 0,4 % азота и содержащей δ -феррит, определяется разностью парциальных значений индекса питтингостойкости $\Delta PRE = PRE_{\delta} - PRE_{\gamma}$ и количеством ферритной фазы; эффект усиливается в случае распада δ -феррита;

- стали с ферритной фазой подвержены КР при катодной поляризации в области «перезащиты» и в горячем растворе хлорида кальция; при этом автор отмечает, что механизмы КР существенно отличаются: водородное охрупчивание – при поляризации, и локальное анодное растворение – в $CaCl_2$.

Помимо систематических исследований, результаты которых послужили основой для прогнозирования коррозионных свойств нержавеющей азотсодержащих сталей аустенитного класса, автором проделана большая работа по созданию методик оценки и аттестации их коррозионных свойств, что имеет важное практическое значение. Так,

- результаты исследований использованы при разработке химических составов нержавеющей аустенитных сталей с различным содержанием азота;

- по результатам диссертационной работы получено 7 патентов РФ;

- уточнены и дополнены Технические условия на новую азотсодержащую аустенитную сталь марки 04X20H6Г11M2АФБ;

- результаты экспериментальных исследований реализованы в виде нормативных документов – методик коррозионных и коррозионно-механических испытаний и рекомендованы для использования при сдачных и сертификационных испытаниях материалов конструкций морской техники. Методики опробованы и внедрены в практику.

Следует отметить большой объем экспериментальных данных, полученных с использованием современных методик и новейшего научного оборудования, что не вызывает сомнений в их достоверности и сделанных в диссертационной работе выводов. Основные результаты работы Мушниковой С.Ю. хорошо апробированы и известны научной общественности.

Однако по работе следует высказать некоторые замечания.

1. В автореферате не указано, о какой предельной (равновесной) концентрации азота в аустенитных азотсодержащих сталях идет речь, в γ -твердом растворе или в расплаве.

2. Какой структурный фактор (факторы) определяют преобладающий при распространении коррозионной трещины механизм коррозионного растрескивания в аустенитных азотсодержащих сталях, анодный или водородный, с учетом того, что исходным дефектом является питтинг.

Указанное замечание не снижает общей положительной оценки диссертации Мушниковой С.Ю., которая является законченным научным исследованием. Представленная работа полностью соответствует требованиям, сформулированным в п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а её автор Мушникова Светлана Юрьевна заслуживает присуждения искомой степени доктора технических наук по специальности 2.6.17 – Материаловедение (технические науки).

Профессор кафедры «Металловедение»,
Институт новых материалов и технологий (ИНМТ)
ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»
(ФГАОУ ВО УрФУ),
доктор технических наук по специальности
05.16.01 – Металловедение и термическая обработка
металлов и сплавов, профессор
Березовская Вера Владимировна

620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19,
+7(343)375-45-07; 375-46-09
375-97-78 (факс), rector@urfu.ru

Березовская В. В.

09.09.2021

Подпись Березовской В.В. удостоверяю.
Ученый секретарь УрФУ



Морозова В.А.