



ЦНИИТМАШ
РОСАТОМ

ОРГАНИЗАЦИЯ АО «АТОМЭНЕРГОМАШ»

Государственный научный центр
Российской Федерации
Акционерное общество
«Научно-производственное объединение
«Центральный научно-исследовательский
институт технологии машиностроения»
(ГНЦ РФ АО «НПО «ЦНИИТМАШ»)

ул. Шарикоподшипниковская, д. 4,
Москва, 115088
Телефон (495) 675-83-01, факс (495) 674-21-96
E-mail: cniitmash@cniitmash.com
ОКПО 00212179, ОГРН 1067746376070
ИНН 7723564851, КПП 772301001

27.08.2021 № 234-2 / 7629
На № _____ от _____

ОТЗЫВ

НИИ «Курчатовский институт»- ЦНИИ КМ «Прометей»		
доу	Вх. № <u>2225</u>	в ДЕЛО
	<u>20.08.2021</u>	№ _____
	Осн. <u>4</u> л.	подп. _____
	Прил. _____ л.	

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)**

В диссертационной работе Мушниковой С.Ю. рассматриваются актуальные вопросы обеспечения в морских условиях коррозионной стойкости и коррозионно-механической прочности высоконагруженных сварных конструкций, а также аттестации металлических материалов для их строительства.

На защиту соискателем ученой степени выносятся следующие положения:

– Взаимосвязь характеристик коррозионной стойкости и коррозионно-механической прочности со структурно-фазовым составом нержавеющей Cr-Mn-Ni-N-Mo-V-Nb аустенитных сталей (влияние вторичных фаз и субструктуры). Научное обоснование ограничений при изготовлении исследованных сталей, на этапах строительства и эксплуатации сварных конструкций из них (температура тепловой прокатки, термического старения, отпуска для снятия остаточных сварочных напряжений, правки должна быть ниже 600 °С – для обеспечения стойкости к межкристаллитной и питтинговой коррозии; уровень катодной поляризации при использовании электрохимической защиты конструкций в морской воде должен быть ограничен – для исключения коррозионного растрескивания по водородному механизму).

– Корреляция количественных параметров коррозионной стойкости и коррозионно-механической прочности со значениями предела текучести и ударной вязкости исследованных сталей, полученных с применением различных

технологий выплавки и способов упрочнения. Система требований к материалам дифференцирована по типам коррозионных повреждений.

- Обоснование доминирующей роли азота в формировании сопротивления коррозионному растрескиванию и коррозионной стойкости Cr-Mn-Ni-N-Mo-V-Nb аустенитных сталей, содержащих не менее 0,3 % N.

- Закономерности совместного влияния N и C (элементов внедрения в γ - и δ -твердых растворах), а также микролегирующих элементов-стабилизаторов (V, Nb) в составе высокопрочных хромомарганцевоникелевых сталей аустенитного класса, содержащих не менее 0,3 % N, на склонность к межкристаллитной коррозии при проведении провоцирующих нагретов в температурном диапазоне 600-900°C.

- Обоснование выбора сварочных материалов для обеспечения высокой питтингостойкости и сопротивляемости межкристаллитной коррозии сварных соединений высокопрочной азотсодержащей стали.

- Рекомендации по предупреждению коррозионных повреждений в морских условиях высоконагруженных сварных конструкций из исследованных сталей, дифференцированные по конкретной области применения (район переменного смачивания, морская атмосфера или полное погружение в морскую воду).

- Методики лабораторных и стендовых коррозионных и коррозионно-механических испытаний конструкционных сталей, которые обеспечивают комплексную аттестацию материалов для изделий в коррозионностойком исполнении в соответствии с требованиями международных и национальных стандартов.

Стоит отметить, что диссертационная работа Мушниковой С.Ю. является на сегодняшний день наиболее полным и разносторонним исследованием эксплуатационных характеристик высокопрочных азотсодержащих сталей, перспективных для эксплуатации в морских условиях, результаты которого представляют большой практический интерес на всех этапах жизненного цикла изделия: от эскизного проекта до продления ресурса. Так, например, автором экспериментально установлена количественная оценка скорости питтинговой коррозии по известной величине ударной вязкости в зависимости от применяемого способа выплавки азотсодержащей стали $V=28-0.16 \cdot KCV+20$ (для стали, выплавленной в индукционной печи) и $V=38-0.16 \cdot KCV+20$ (для стали, изготовленной по технологии электрошлакового переплава). Подробно изучена роль вторичных фаз, формирующихся при металлургическом переделе в структуре стали, а также научно обосновано благоприятное влияние ВТМО на коррозионную стойкость хромомарганцевоникелевых азотсодержащих сталей, обусловленное созданием субструктуры – образование нитридных и карбидных частиц будет происходить преимущественно на дислокациях, не вызывая ослабление границ зерен. Подобные выводы согласуются, в том числе, с аналогичными выводами, полученными ранее М.Л. Бернштейном для хромоникелевых сталей. Определены концентрационные параметры, гарантирующие максимально полное связывание углерода в карбиды элементами-стабилизаторами и исключаящие тем самым склонность стали к

межкристаллитной коррозии при проведении различных термических операций на этапах изготовления и правки сварных конструкций: $[Nb] + 0.4[V] \geq 7([C] - 0.02)$. Кроме того показано, что при невыполнении этого условия снижается и питтингостойкость стали (скорость питтинговой коррозии сенсibilизированной стали по сравнению с аустенитизированным состоянием возрастает в 8 раз). Научно и практически важными являются и результаты натурных испытаний в акватории Черного и Южно-Китайского морей: интенсивное биообрастание простейшими, микроводорослями и бактериями общей массой свыше 300 г/м², формирующими таким образом «экранирующий барьер», приводит к снижению скорости локальной коррозии до 4,5 раз. Подобное наблюдение позволило скорректировать методику совместных с учеными Института проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН испытаний в части экспозиции образцов в сетке для возможности последующего прогноза стойкости нержавеющей сталей к локальной коррозии в природной морской воде на базе результатов ускоренных лабораторных испытаний. Эксперименты по исследованию стойкости конструкционных сталей к коррозионному растрескиванию в морской воде выполнены как при потенциале свободной коррозии, так и с катодной поляризацией – моделированием возможной «перезащиты» при использовании стандартных для судостроения протекторов. В диссертационной работе Мушниковой С.Ю. установлено, что в отличие от низко- и среднелегированных сталей, имеющих четкую зависимость склонности к коррозионному растрескиванию от величины предела текучести, сопротивление высоколегированных азотсодержащих сталей коррозионному растрескиванию не определяется уровнем прочности и является сильно выраженной структурно чувствительной характеристикой.

Автором работы показана принципиальная возможность получения нержавеющей сталей аустенитного класса на базе одной композиции легирования Cr-Mn-Ni-N-Mo-V-Nb за счет применения различных технологий термической и термомеханической обработки, что при использовании их в составе высоконагруженных морских конструкций и изделий судового машиностроения позволит минимизировать коррозионные повреждения и полностью предупредить гальваническую коррозию.

Получение высокопрочного состояния азотсодержащих сталей ($\sigma_{0.2}$ до 1250-1360 МПа) предлагается обеспечить при холодной или теплой пластической деформации прокаткой при 20 или 600-650°C, соответственно. Будучи обоснованным с научной точки зрения, с позиции практической реализации такое утверждение требует разъяснения, поскольку технологически процесс сопряжен с большими усилиями при прокатке и требует использование прокатного стана с высокими энергосиловыми характеристиками.

Однако научную новизну и практическую значимость для разработки и аттестации конструкционных материалов для изделий в коррозионностойком исполнении, эксплуатирующихся в условиях морской атмосферы, при полном погружении в морскую воду или в районах переменного смачивания, указанное выше не исключает. Автореферат диссертационной работы соответствует паспорту специальности 2.6.17 - Материаловедение (технические науки), а также

требованиям ВАК к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а Мушникова Светлана Юрьевна, автор диссертационной работы, заслуживает присуждения искомой ученой степени.

Заместитель
генерального директора
по научной работе АО
«НПО «ЦНИИТМАШ»,
д.т.н.

26.08.2021.



Косырев
Константин Львович