



ОКБМ
АФРИКАНТОВ
РОСАТОМ

ОРГАНИЗАЦИЯ АО «АТОМЭНЕРГОМАШ»
Акционерное общество
«Опытное Конструкторское Бюро
Машиностроения
имени И. И. Африкантова»
(АО «ОКБМ Африкантов»)

Бурнаковский проезд, д. 15,
г. Нижний Новгород, 603074

Почтовый адрес:

Бокс № 772, Нижний Новгород, 603950
Телефон (831) 275-26-40, факс (831) 241-87-72

E-mail: okbm@okbm.nnov.ru

ОКПО 08624579, ОГРН 1085259006117

ИНН 5259077666, КПП 525901001

№ _____
На № _____ от _____

НИЦ «Курчатовский институт»- ЦНИИ КМ «Прометей»		
доу	Вх. № 229	в ДЕЛО
	01.02.2021г.	
	Осн. 3 л.	№ _____
	Прил. _____ л.	подп. _____

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации **Малинкиной Юлии Юрьевны «Повышение коррозионных характеристик титановых сплавов для морской техники модифицированием (микролегированием) элементами платиновой группы»**,
представленной к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.16.09 – «Материаловедение (машиностроение)»

Обеспечение работоспособности парогенераторов (ПГ) транспортных ядерных энергетических установок (ЯЭУ) и плавучих АЭС в течение назначенного ресурса, в том числе при их кратковременной вынужденной эксплуатации в нештатных условиях, является чрезвычайно важной задачей. Представляется, что вынужденная работа ПГ при засолении питательной воды вследствие поступления во второй контур воды с высоким содержанием (рассола водоопреснительной установки, морской воды и др.) может приводить к протеканию локальной коррозии (питтинговой, горячесолевого) теплообменных труб из титанового сплава и появлению сквозных поражений. Особенно опасными представляются условия, при которых может протекать горячесолевого коррозии, то есть нахождение ПГ в «горячем резерве» сразу после их работы на засолённой воде.

Диссертационная работа Малинкиной Ю.Ю. посвящена решению задачи повышения стойкости титановых сплавов, применяемых в качестве конструкционных материалов морской техники, к локальным видам коррозии. Учитывая возможность возникновения условий протекания локальных видов коррозии (коррозионноагрессивная среда, температура) на поверхностях теплообменных труб даже при кратковременной вынужденной нештатной эксплуатации ЯЭУ и, соответственно, развития сквозных поражений, поставленная в диссертации задача по созданию титановых сплавов обладающих повышенной стойкостью к локальным видам коррозии в возникающих условиях, является **актуальной**. Применение данных сплавов в качестве конструкционного материала трубных систем ПГ позволит минимизировать риск отказов ПГ вследствие кратковременной работы в условиях засоления питательной воды и, соответственно, увеличить их надежность и живучесть. Для её решения диссертантом выбрано направление модифицирования (микролегирования) широко применяемых титановых сплавов металлами платиновой группы. Объектами исследований

являлись композиции титановых α -сплавов Ti-Al-Zr-Ru, Ti-Al-Zr-Pd, псевдо- α сплава Ti-Al-V-Mo-Ru и псевдо- β сплава Ti-Al-Mo-V-Fe-Cr-Ru и их базовые композиции без рутения, изготовленные на металлургических предприятиях, а также титановые α и псевдо- α сплавы базовых композиций с различными покрытиями, содержащими рутений на поверхности.

Научная новизна представленной работы состоит в том, что установлены особенности распределения в микроструктуре катодного модификатора и определены значения локального содержания рутения в разных классах сплавов титана: в α сплаве – в виде агломераций на границах зерен в районах остаточной β - фазы (до 3,6 %); в псевдо- α сплаве – в прослойках β - фазы (до 1,21 %) и в псевдо- β сплаве – распределенным в матрице β -фазы (до 0,29 %), предложена модель влияния катодного модифицирования на коррозионную стойкость в экстремальных условиях для различных классов титановых сплавов, учитывающая особенности распределения рутения в структуре сплава и его пассивирующую способность при различной локальной концентрации.

Практическая значимость работы состоит в том, что изготовлены опытные партии поковок из титановых сплавов микролегированных рутением (Ti-Al-Zr, Ti-Al-V, Ti-Al-V-Mo и Ti-Al-Mo-Nb), выпущены ТУ 1825-163-07516250-2015 «Поковки из титановых сплавов марок 5Вкс и 37кс. Технические условия. Опытная партия», изготовлены опытно-штатные партии труб из титанового сплава композиции Ti-Al-Zr с микролегированием рутением и палладием, выпущены технические условия ТУ 1825-156-07516250-2015 «Трубы бесшовные холоднодеформированные из титановых сплавов, легированных рутением и палладием. Технические условия», разработаны и внедрены методики коррозионных испытаний.

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается использованием в ходе исследования аттестованных методик, поверенных средств измерения, современных методов исследования титановых сплавов.

В качестве **замечаний к автореферату диссертации** следует отметить следующее:

1. Согласно литературным данным, ряд исследователей приводят следующую схему протекания горячесолевого коррозии. Она развивается вследствие протекания ряда химических реакций титановых сплавов с хлоридами (и другими галогенидами) щелочных и щелочноземельных металлов, в конечном итоге образуется оксихлориды титана и хлорид титана (IV) $TiCl_4$, которые гидролизуются при контакте с парами воды, содержащимися в атмосферном воздухе. В качестве продуктов гидролиза образуются оксиды титана и газообразный хлороводород, обуславливающий дальнейшее протекание горячесолевого коррозии. Это коррозионноагрессивное вещество реагирует с титаном, а также другими компонентами сплава, снова образуются оксихлориды титана и хлорид титана (IV), которые гидролизуются, и процесс продолжается. Диссертантом было выявлено снижение скорости горячесолевого коррозии на образцах из сплавов Ti-Al-Zr-Ru и Ti-Al-Zr-Pd по сравнению со сплавом Ti-Al-Zr. В автореферате не приведено объяснение механизма ингибирования протекания горячесолевого коррозии микролегированием рутением, палладием. Представляется, что данный факт требует проведения отдельных исследований, так как в механизме протекания горячесолевого коррозии, приведенном выше, отсутствуют растворы солей.

2. В тексте автореферата не приведена информация о том, каким методом проводилось измерение глубины коррозионных поражений после испытания на стойкость к горячесолевого коррозии, были ли на образцах из сплавов Ti-Al-Zr-Ru и Ti-Al-Zr-Pd зафиксированы межкристаллитные коррозионные поражения, характерные для сплавов системы Ti-Al-Zr при характерных размерах зерен 15-20 мкм. Если такие поражения были зафиксированы, то учитывались ли они при определении глубины поражений? Нет данных о составе продуктов коррозии, образовавшихся на поверхностях сплавов, наличии в них соединений рутения, палладия. Эта информация важна для объяснения механизма ингибирования горячесолевого коррозии микролегированием сплава металлами платиновой группы.

3. Локальная коррозия титановых сплавов (питтинговая, горячесолевая) протекает с увеличением содержания водорода в металле в области развития локальных поражений. Наводороживание негативно влияет на эксплуатационные свойства титановых сплавов при температурах ниже 160 °С. В автореферате не приведена информация о содержании водорода в образцах после испытаний. Проводилось ли определение содержания водорода в образцах до и после испытаний?

Перечисленные выше замечания носят рекомендательный характер и не снижают общей ценности работы, она, по-нашему мнению, должна иметь продолжение. Необходимым представляется отдельно оценить перспективу использования разработанных сплавов в теплообменном оборудовании химической промышленности, так как они показывают высокую коррозионную стойкость в кислых средах.

В целом к защите представляется законченная работа, содержащая научно-обоснованные решения и удовлетворяющая требованиям п.9 Положения о присуждения ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям. По содержанию диссертация соответствует специальности 05.16.09 – «Материаловедение (машиностроение)», а ее автор, Малинкина Юлия Юрьевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – «Материаловедение (машиностроение)».

Помощник Генерального директора-
Генерального конструктора по
утилизации топлива
АО «ОКБМ Африкантов»,
доктор технических наук

Сандлер Натин Гиршевич
Тел.: (831) 246-95-29
e-mail: sandler@okbm.nnov.ru



Начальник отдела
контроля химического состава
материалов и защиты от коррозии
АО «ОКБМ Африкантов»,
кандидат технических наук

Тряев Пётр Владимирович
Тел.: (831) 246-98-34
e-mail: tryaev@okbm.nnov.ru



Подписи Н.Г. Сандлера и П.В. Тряева заверяю,

Начальник департамента научного развития
и ВАБ – Главный ученый секретарь
АО «ОКБМ Африкантов»,
доктор технических наук

А.М. Бахметьев
“28” 01 2021 г.


