



вх. № 222	в ДЕЛО
«01.02.2021 г.	№ _____
Основ. 2 л.	подп. _____
Прил. л.	

**Акционерное общество «Силовые машины – ЗТЛ, ЛМЗ, Электросила, Энергомашэкспорт»  
(АО «Силовые машины»)**

ул. Ватутина, д. 3, лит. А, Санкт-Петербург, Россия, 195009, тел. +7 (812) 346-70-37, факс +7 (812) 346-70-35  
mail@power-m.ru; www.power-m.ru

### ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Малинкиной Юлии Юрьевны  
**«ПОВЫШЕНИЕ КОРРОЗИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ ДЛЯ  
МОРСКОЙ ТЕХНИКИ МОДИФИЦИРОВАНИЕМ (МИКРОЛЕГИРОВАНИЕМ) ЭЛЕМЕНТАМИ  
ПЛАТИНОВОЙ ГРУППЫ»,**

представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности  
05.16.09 – материаловедение (машиностроение)

Научная работа соискателя Ю.Ю. Малинкиной посвящена вопросу катодного модифицирования морских и теплостойких титановых сплавов элементами платиновой группы с целью повышения коррозионной стойкости элементов конструкций морской техники и энергетического оборудования. При этом рассматривается объемная и поверхностная катодная модификация сплавов (то есть микролегированием состава или путем нанесения защитного покрытия, соответственно).

Для достижения поставленной цели соискателем решены задачи: по обоснованному выбору модифицирующего (микролегирующего) элемента, по корректировке технологии изготовления титановых сплавов и защитных катодных покрытий, по изучению микроструктуры модифицированных сплавов, по методическому обеспечению коррозионных испытаний модифицированных сплавов, по разработке научно-технической документации на опытные партии полуфабрикатов из модифицированных титановых сплавов, по комплексному исследованию характеристик работоспособности модифицированных сплавов.

В работе исследованы титановые сплавы различных классов:  $\alpha$ -сплавы ( $Ti-Al-Zr-Ru$ ,  $Ti-Al-Zr-Pd$ ), псевдо- $\alpha$  сплавы ( $Ti-Al-V-Mo-Ru$ ), псевдо- $\beta$  сплавы ( $Ti-Al-Mo-V-Fe-Cr-Ru$ ) и их базовые композиции без рутения, а также базовые композиции титановых  $\alpha$ - и псевдо- $\alpha$  сплавов с покрытиями, содержащими Ru.

В результате выполненных соискателем исследований установлены качественные и количественные особенности распределения катодного модификатора в титановых сплавах разных классов. Это позволило предложить модель влияния катодного модифицирования на коррозионную стойкость сплавов, когда в начальной стадии воздействия коррозионной среды на поверхности модифицированных титановых сплавов происходит разрушение оксидной пленки и образуются зоны выхода рутения. Рутений имея более положительный стационарный потенциал по сравнению со стационарным потенциалом титана, приводит к самопассивации сплава на данном участке поверхности. При равномерном расположении зон самопассивации вся поверхность сплава может быть полностью защищена от коррозионной среды. Этот эффект более явно проявляется на титановых  $\alpha$ -сплавах, в которых рутений, как элемент  $\beta$ -стабилизатор, преимущественно находится по границам  $\alpha$ -зерен в виде агломераций (в районах дисперсных выделений  $\beta$ -фазы до 1,5 %) с локальным содержанием Ru до 3,6 %. И существенно

дисперсных выделений  $\beta$ -фазы до 1,5 %) с локальным содержанием Ru до 3,6 %. И существенно более слабое пассивирующее воздействие оказывает рутений, как элемент замещения, находящийся в прослойках или матрице  $\beta$ -фазы (псевдо- $\alpha$  или псевдо- $\beta$  титановых сплавов) с локальным содержанием Ru до 1,21 и 0,29 %, соответственно, замещая атомы Ti вместе с другими  $\beta$ -стабилизирующими элементами (V и Mo).

Предложенная соискателем модель влияния катодного модифицирования на коррозионную стойкость титановых сплавов была подтверждена регистрацией изменения разности потенциалов исследуемых сплавов (композиции с рутением и без рутения) в агрессивной коррозионной среде (20 % NaCl при температуре 85 °C).

Кроме того, соискателем обосновано увеличение стойкости к щелевой и горячей солевой коррозии, повышение циклической прочности титановых сплавов при микролегировании до 0,15 % Ru. Показана эффективность использования рутения для повышения сопротивления псевдо- $\alpha$  и псевдо- $\beta$  титановых сплавов коррозионному растрескиванию в синтетической морской воде.

Практическая значимость выполненной соискателем научной работы состоит в разработке методик определения стойкости титановых сплавов к щелевой и питтинговой коррозии, а также к коррозионному растрескиванию методом трехточечного изгиба при медленном деформировании (в виде руководящих документов). Разработанные методики опробованы, в том числе, профильными предприятиями и используются аккредитованной лабораторией. Изготовлены опытные партии поковок из титановых  $\alpha$ - и псевдо- $\alpha$  сплавов, микролегированных рутением, выпущены технические условия на опытную партию. Изготовлены опытно-штатные партии труб из титановых  $\alpha$ -сплавов, микролегированных палладием и рутением, выпущены технические условия на холоднодеформированные бесшовные трубы. Показано, что микролегирование рутением или палладием титановых  $\alpha$ -сплавов для трубных систем парогенераторов транспортных ядерных энергетических установок приводит к повышению живучести труб в случае нарушения водно-химических режимов работы установок (в условиях засоления второго контура при возникновении условий горячесолевой коррозии).

Установлено, что шликерное покрытие из раствора гидрооксида рутения имеет хорошую адгезию и равномерное распределение по поверхности, что обеспечивает максимальную защиту исследованных титановых сплавов от коррозии по сравнению с содержащими рутений защитными покрытиями, полученными химическим или гальваническим способами (химическое осаждение и микродуговое оксидирование, соответственно). Разработанные составы и технологии нанесения покрытий защищены российскими патентами.

Исследования, выполненные соискателем, соответствуют паспорту специальности 05.16.09 в части разработки способов повышения коррозионной стойкости материалов в различных условиях эксплуатации (п. 9) и представляют собой законченную комплексную работу, выполненную на высоком научно-техническом уровне, поэтому соискатель, Малинкина Юлия Юрьевна, заслуживает присуждение ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – материаловедение (машиностроение).

Технический директор завод «Электросила»  
АО «Силовые машины – Электросила» к.т.н.



Антонюк О.В.