

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Харькова Олега Александровича

**«Структура и свойства биметалла с плакирующим слоем
из коррозионно-стойкой азотосодержащей стали
для арктической морской техники»,**

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.16.09 «Материаловедение» (машиностроение)

Актуальность работы

Применение биметаллических материалов часто позволяет решить сложные конструктивные задачи, которые не могут быть решены при использовании однородных гомогенных материалов. Особенно это касается тех случаев, когда от материала одновременно требуется высокие прочностные свойства и коррозионная стойкость или износостойкость.

Подобная проблема очень остро стоит при эксплуатации арктической техники, в частности ледоколов. Корпусные стали, особенно в ледовом поясе корпуса, должны обладать как высокой прочностью, так и коррозионной стойкостью и износостойкостью. Обычно в качестве такого материала используют малолегированную углеродистую сталь с нанесённым на неё покрытием из нержавеющей стали. Однако, вследствие существенной разницы в прочностных свойствах основного металла и плакирующего слоя, происходит снижение конструктивной прочности изделия и увеличение его веса.

По этой причине диссертационная работа Харькова О.А., посвященная разработке биметалла из высокопрочной хладостойкой стали и равнопрочным плакирующим слоем из коррозионностойкой азотсодержащей стали для обеспечения его использования в качестве коррозионно- и эрозионно-стойкого материала в составе корпусных конструкций арктических морских судов и сооружений, является весьма актуальной.

НИЦ «Курчатовский институт»- ЦНИИ КМ «Прометей»		
документ	Вх. № 1402	в ДЕЛО
	05.05.2017 г.	№
	Прил. л.	подп.

Структура работы

Диссертация Харькова О.А. представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, изложенную на 197 страницах, содержит 66 рисунков, 32 таблицы. Список литературы включает 135 наименований.

Во введении показана актуальность выбранной темы и сформулированы задачи работы, решение которых позволило автору достичь поставленной цели.

В первой главе сформулированы требования к современным двухслойным коррозионно-стойким сталям, их областям применения, и рассмотрены технологические схемы изготовления биметаллических материалов.

Во второй главе выбран материал для исследования и определены технологии его получения. Представлены методики проведённых исследований структуры сталей, определения механических и эксплуатационных свойств. В результате в качестве основного металла была выбрана сталь 04Х20Н6Г11М2АФБ, а в качестве покрытия сталь АБ2-2.

В третьей главе приведены результаты лабораторных исследований по получению новой двухслойной коррозионно-стойкой стали АБ2-2+04Х20Н6Г11М2АФБ с использованием технологий пакетной прокатки, методом наплавки и сварки взрывом. Полученные образцы биметалла подвергались последующей прокатке. Также представлены результаты контроля качества нанесённого плакирующего слоя ультразвуковым методом.

Четвёртая глава посвящена металлографическому анализу микроструктуры двухслойной стали, полученной по различным технологическим схемам. При этом использовались как методы оптической, так и электронной микроскопии. Приведены результаты испытаний по определению механических свойств материала, а также характеристики износостойкости и коррозионной стойкости.

В пятой главе изложены основные технологические принципы и приведены результаты промышленного производства двухслойной стали АБ2-2+04Х20Н6Г11М2АФБ. Представлены результаты тестирования полученных материалов на соответствие требованиям нормативно-технической документации.

Научная новизна полученных результатов

Научная новизна полученных результатов определяется следующими показателями:

- впервые получен биметалл с равнопрочными слоями из судостроительной хладостойкой стали АБ2-2 ($\sigma_{0,2}=685$ МПа) и аустенитной азотсодержащей стали 04Х20Н6Г11М2АФБ ($\sigma_{0,2}=680-700$ МПа), обладающий высокой коррозионной стойкостью и сопротивлением износу;
- показано, что независимо от способа получения биметалла (пакетной прокаткой, нанесением наплавки и сваркой взрывом) на границе слоев происходит перераспределение легирующих элементов (Ni, Mn, Cr) в сторону выравнивания концентраций, приводящее к формированию со стороны аустенитной стали мартенситного слоя размером до 30 мкм;
- установлено, что в зоне сцепления формируется мелкозернистая структура, как в стали плакирующего (с размером зерен 7-15 мкм), так и основного (с размером зерен 0,5-3 мкм) слоев, отличающаяся по размерам от структур в объеме слоев биметалла, приводящая к увеличению микротвердости с 2000 МПа до 3000-4500 МПа;
- показано, что закалка от 900°C и последующий отпуск при 630-640°C приводят к снижению пика твердости в переходном слое на 1000-1500 МПа, что положительно сказывается на характеристиках прочности сцепления слоев (сопротивлении срезу, отрыву и особенно на параметры холодного загиба образцов);
- установлено, что высокая износостойкость азотсодержащей стали плакирующего слоя обеспечивается за счет дисперсионного твердения,

связанного с образованием наноразмерных нитридов ниобия и ванадия (3-10 нм).

- показано, что высокая коррозионная стойкость плакирующего слоя создается за счет мгновенного восстановления пассивной окисной пленки на поверхности после ее механического повреждения (скорость восстановления электрохимического потенциала для стали 04Х20Н6Г11М2АФБ составляет около 30 мВ/с).

Практическая значимость

- - получена новая двухслойная коррозионно- и эрозионно-стойкая сталь с плакирующим слоем из азотсодержащей стали, равнопрочным основному слою из стали АБ2-2, выпущены технические условия на опытную партию;
- - опробована промышленная технология изготовления листовой двухслойной стали методом пакетной прокатки на ООО «ОМЗ «Спецсталь» и сваркой взрывом на опытном полигоне ОАО «ННИИММ «Прометей» (г. Нижний Новгород);
- - испытания опытной партии биметалла подтвердили высокую прочность сцепления слоев, высокое сопротивление различным видам коррозии и износу, хорошую свариваемость; что позволяет рекомендовать данный биметалл для использования в тяжело нагруженных конструкциях, подвергающихся коррозионному и эрозионному воздействию агрессивной среды, таких как наружная обшивка корпуса мощных атомных ледоколов и морских ледостойких стационарных буровых установок;
- - высокая прочность сцепления слоев в сочетании с одинаковой прочностью основного и плакирующего слоев позволяет рекомендовать учитывать плакирующий слой при проведении расчетов на прочность, что снизит расход металла и уменьшит массу корпусной конструкции на 3-5 %.

Достоверность результатов

Достоверность полученных результатов определяется, с одной стороны, использованием современных методик и исследовательского оборудования, а с другой стороны, совпадением результатов испытаний по

определению механических и эксплуатационных свойств биметалла, полученного в лабораторных и промышленных условиях. Разработанные в ходе выполнения работы технические решения защищены патентами РФ.

Публикации

По материалам диссертации автором опубликовано 8 печатных работ, 6 из которых опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК РФ, разработки защищены 2 патентами РФ на изобретение.

Замечания по работе

1. На стр. 86 отмечается, что «предварительно невозможно точно рассчитать начальное соотношение толщин листов, чтобы попасть в требуемое соотношение после прокатки». Однако подобная проблема вполне может быть решена при использовании результатов расчётов в программе «*Deform*», которые учитывают различие слоёв металла в пластичности и теплофизических свойствах.
2. В разделе 4.3.1. упоминается, что структура основного металла – стали АБ2-2 после термической обработки, состоящей из закалки от 900°C в воде и высокого отпуска при 630-640°C является мартенситно-бейнитной. Это не совсем корректно. В данном случае правильно было бы говорить о продуктах распада мартенсита.
3. На стр. 120 отмечается, что микротвердость мартенсита у границы сцепления составила 3360 МПа и 2620 МПа. Подобные значения твёрдости в большей степени соответствуют продуктам распада мартенсита. Наиболее близки к «мартенситным» значения микротвёрдости, полученные после сварки взрывом 4100 МПа (стр. 122).
4. К недостаткам работы следует также отнести очень поверхностный и далеко не полный *EBS*D анализ структуры исследованных материалов.

В целом высказанные замечания носят частный характер, не затрагивают основной сути работы и не снижают её значимости.

Общее заключение по работе

Диссертационная работа Харькова Олега Александровича на тему «Структура и свойства биметалла с плакирующим слоем из коррозионно-стойкой азотосодержащей стали для арктической морской техники» является законченным научным исследованием, выполненным на актуальную тему и содержащим новые научно обоснованные технические и технологические решения, имеет научную новизну и практическую значимость.

Содержание автореферата полностью соответствует основным положениям и выводам диссертационной работы. Диссертация О.А. Харькова соответствует специальности 05.16.09 «Материаловедение» (машиностроение) и п.9 Положения о присуждении ученых степеней №842 от 24.09.2013г. ВАК РФ. Автор диссертации, Харьков Олег Александрович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 «Материаловедение» (машиностроение).

Официальный оппонент,
канд. техн. наук
доцент каф. «Технология и
исследования материалов»



Зотов О.Г.

ФГАОУ ВО «СПбПУ»
195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая 29,
Тел.: 8 (812) 294-42-22
e-mail: zog-58@mail.ru

