



Государственный
научный центр РФ
ЦНИИТМАШ



Государственный научный центр
Российской Федерации
Акционерное общество
«Научно-производственное объединение
«Центральный научно-исследовательский институт
технологии машиностроения»

(АО «НПО «ЦНИИТМАШ»)
115088, Москва, Шарикоподшипниковская, 4
Телефон: (495)675-83-02. Факс: (495)674-21-96
<http://www.cniitmash.ru>
E-mail: cniitmash@cniitmash.ru



УТВЕРЖДАЮ
Заместитель генерального директора
по научной работе
ГНЦ РФ АО «НПО «ЦНИИТМАШ»
Проф., д.т.н. Косырев К.Л.
25 апреля 2017 года

НИЦ «Курчатовский институт»- ЦНИИ КМ «Прометей»		
ДОУ	Вх. № <u>1645</u>	в ДЕЛО
	<u>03</u> » <u>05</u> 20 <u>17</u> г.	№ _____
	Осн. <u>4</u> л.	подп. _____
	Прил. _____ л.	

Отзыв

ведущей организации на диссертационную работу Харькова Олега Александровича на тему: «Структура и свойства биметалла с плакирующим слоем из коррозионно-стойкой азотсодержащей стали для арктической морской техники», представляемую на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – материаловедение (машиностроение)

Актуальность темы выбранной автором диктуется поставленными современными масштабными задачами по освоению Арктики. Как показывает практика, существующие конструкционные материалы и тем более лакокрасочные покрытия, применявшиеся для изготовления корпусных конструкций морской техники, не обеспечивают заданный ресурс работы в условиях высоких механических нагрузок, истирающего воздействия движущихся ледовых полей и коррозионной агрессивности морской воды. Положительный пример существенного повышения стойкости против коррозионно-эрозионного износа корпусных конструкций дал опыт применения плакированных сталей на атомном ледоколе «50 лет Победы» и на морской стационарной буровой платформе «Приразломная».

Строительство новых более мощных атомных ледоколов, предназначенных для работы в условиях проводки судов в тяжёлых ледовых условиях, предъявляет особые комплексные требования к прочностным, износостойким, коррозионностойким свойствам корпусных биметаллических материалов. В этой связи работа, направленная на разработку плакированной стали с высокими механическим, технологическими и эксплуатационными свойствами, обеспечивающая высокую коррозионно-эрозионную стойкость биметалла с одинаковой высокой прочностью основного и плакирующего слоя, является своевременной, перспективной и отвечает всем требованиям задач поставленных вновь строящейся арктической морской техники.

Научная новизна исследования и полученных результатов диссертационной работы заключается во всестороннем научно-техническом анализе и формировании автором комплексных современных требований к механическим и техническим характеристикам основного слоя и плакирующего слоя биметаллических листов, выборе исходных материалов, отработке основных параметров и оптимизации технологических процессов по нескольким способам получения биметаллических листов.

Наиболее существенные научные результаты полученные в диссертационной работе состоят в том, что впервые получен биметалл с равнопрочными слоями из судостроительной хладостойкой стали ($\sigma_{0,2}=685$ МПа) и аустенитной азотсодержащей стали ($\sigma_{0,2}=680-700$ МПа).

Показано, что независимо от способа получения биметалла на границе слоев происходит перераспределение легирующих элементов (Ni, Mn, Cr) в сторону выравнивания концентраций, что приводит к образованию мартенситной структуры толщиной до 30 мкм;

Установлено также, что в зоне сцепления размером в 25-30 мкм формируется мелкозернистая структура, как в стали плакирующего (с размером зерен 7-15 мкм), так и основного (с размером зерен 0,5-3 мкм) слоев, приводящая к увеличению микротвердости с 2000 МПа до 3000-4500 МПа.

Показано, что закалка от 900 °С и последующий отпуск при 630-640 °С приводят к снижению пика твердости в переходном слое на 1000-1500 МПа, что положительно сказывается на характеристиках прочности сцепления слоев таких как: сопротивлении срезу, отрыву и особенно на параметрах холодного загиба образцов биметаллического листа.

Установлено, что высокая износостойкость азотсодержащей стали плакирующего слоя обеспечивается за счет дислокационного упрочнения поверхностного слоя. Коррозионная стойкость плакирующего слоя нового поколения аустенитной азотсодержащей стали обеспечивается за счет быстрого восстановления пассивной окисной пленки на её поверхности после механического воздействия ледовых масс. На применявшихся ранее сталях такое воздействие вызывало существенную локальную, язвенную коррозию, которая с течением времени до 30% снижала ходовые характеристики ледоколов.

Практическая значимость результатов работы, подтверждена актами внедрения в металлургическое производство плакированных листов на ООО «ОМЗ - Спецсталь» и их применением при проектировании перспективных атомных ледоколов (ПАО «ЦКБ «Айсберг») заключается в следующем:

1. Получена новая двухслойная коррозионно и эрозионно-стойкая сталь с плакирующим слоем из азотсодержащей стали, равнопрочным основному слою из стали АБ2-2, оформлены технические условия на опытную партию;

2. Опробована промышленная технология изготовления листовой двухслойной стали методом пакетной прокатки на ООО «ОМЗ - Спецсталь» и сваркой взрывом в ОАО ННИИММ «Прометей» (г. Нижний Новгород).

3. Испытания опытной партии биметалла, изготовленного методами пакетной прокатки и сваркой взрывом, подтвердили высокую прочность

сцепления слоев при испытаниях на срез, отрыв и загиб, высокое сопротивление различным видам коррозии и износу, хорошую свариваемость; это позволяет рекомендовать данный биметалл для использования в тяжелонагруженных конструкциях, подвергающихся коррозионному и эрозионному воздействию агрессивной среды, таких как наружная обшивка корпуса мощных атомных ледоколов и морских ледостойких стационарных буровых установок.

4. Высокая прочность сцепления слоев в сочетании с одинаковой прочностью основного и плакирующего слоев позволяет рекомендовать производить учет плакирующего слоя при проведении расчетов на прочность, что снизит расход металла и уменьшит массу конструкции на 3-5 %.

Общая характеристика работы. Диссертационная работа Харькова О.А. изложена в соответствии с действующими стандартами. Работа изложена на 197 страницах машинописного текста, иллюстрирована 66 рисунками, 32 таблицами, состоит из введения, 5 глав, выводов и приложений. Список цитируемой литературы показывает глубокую проработку исследуемой проблемы и содержит 135 наименований.

Во введении автор обосновывает актуальность рассматриваемой проблемы, определяет цель и задачи работы, отмечает научную новизну проводимых исследований, практическую ценность полученных результатов, а также излагает основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе представлен обзор технической литературы, касающийся изучения химического состава, структуры, механических и коррозионных свойств исходных сталей, выбранных для создания двухслойных коррозионно-стойких сталей. Показано, что только биметалл, у которого основной слой изготовлен из высокопрочной хладостойкой легированной стали, а плакирующий слой – из коррозионно-стойкой аустенитной стали, может противостоять отрицательным температурам, истирающему воздействию ледовых полей и агрессивности морской воды. Установлено, что для создания двухслойной стали для перспективных мощных атомных ледоколов и морских ледостойких стационарных буровых платформ целесообразно применять для плакирующего слоя высокопрочную коррозионно-стойкую аустенитную азотсодержащую сталь. В качестве основного слоя рекомендуется высокопрочная сталь типа АБ. Проанализированы преимущества и недостатки существующих способов изготовления биметалла (методами наплавки, пакетной прокатки, сварки взрывом). Установлены области нерешенных проблем, главными из которых являются применимость существующих методов плакирования, а также воздействие происходящих структурных изменений в сталях основного и плакирующего слоя в зоне их контакта на прочность сцепления слоев и служебные свойства биметалла.

Вторая глава посвящена выбору материалов и методик исследований. В качестве металла основного слоя обоснованно выбрана высокопрочная сталь

марки АБ2-2. Для плакирующего слоя применена коррозионно-стойкая азотсодержащая аустенитная сталь марки 04Х20Н6Г11М2АФБ по пределу текучести близкая к стали АБ2-2.

В этой главе также изложены методы исследований и применяемое оборудование, позволяющее получать достоверные результаты по происходящим в зоне соединения слоев биметалла структурным изменениям, определению прочности зоны соединения, коррозионных свойств и сопротивлению износу при трении, изучению статической и циклической прочности на образцах в полную толщину листа. Автором предложена оригинальная методика определения коррозионной стойкости по кривым спада потенциала коррозии.

В третьей главе изложены результаты исследований по применению методов пакетной прокатки, наплавки, сварки взрывом при изготовлении биметалла АБ2-2 + 04Х20Н6Г11М2АФБ, и даны результаты предварительной оценки его качества.

При получении биметалла методом пакетной прокатки заваренные по периметру заготовки исходных сталей вакуумировали до давления 10^{-4} мм рт. ст. Прокатку пакета вели в интервале температур 1200-1050 °С, что обеспечивало снижение уровня прочности обеих сталей до 10-50 МПа и позволяло осуществлять суммарное обжатие до 70%. После прокатки образцы подвергались закалке с последующим отпуском по режимам, которые предусмотрены для стали основного слоя для обеспечения требуемых механических свойств. Получение биметалла методом наплавки проводилось электродуговой сваркой в инертной атмосфере с использованием неплавящегося электрода с присадкой из стали 04Х20Н6Г11М2АФБ, нарезанной в виде полос. Прокатка и термическая обработка заготовок с наплавкой и полученных сваркой взрывом была выполнена по тем же режимам, что и заготовок, полученных методом пакетной прокатки.

Ультразвуковой контроль показал отсутствие дефектов в виде несплошностей между соединяемыми сталями, что позволяет констатировать, что качество сцепления при всех способах получения плакированной стали вполне удовлетворительное.

Четвертая глава посвящена исследованию структуры и свойств плакированной стали, полученной различными способами. Автором установлено, что биметалл АБ2-2 + 04Х20Н6Г11М2АФБ, полученный по различным технологиям, обладает следующими свойствами: сопротивление отрыва составляет 740 - 840 МПа; сопротивление срезу составляет 500 - 570 МПа;

Все значения напряжения среза значительно превышают требования ГОСТ 10885-85 (≥ 147 МПа) и Российского Морского Регистра Судоходства (РМРС) (≥ 355 МПа). Независимо от способа получения двухслойной стали все образцы выдержали испытания на холодный изгиб на угол 180°.

Показано, что при любых технологиях получения двухслойной стали вдоль линии контакта образуется зона шириной 3-30 мкм, захватывающая оба слоя, которая характеризуется измельчением зерен аустенита, изменением

концентрации легирующих элементов, образованием мартенситных структур и увеличением твердости.

Исследованиями коррозионно-эрозионной стойкости стали плакирующего слоя в сравнении с нержавеющей сталью типа 18-10 в условиях сухого трения и в условиях трения в соленой воде, установлено, что при сухом трении из-за выкрашивания образующегося хрупкого слоя мартенсита сталь 18-10 уступает по интенсивности изнашивания более чем в два раза азотсодержащей стали 04X20H6Г11М2АФБ. Восстановление пассивной пленки в условиях трения в соленой воде на стали 04X20H6Г11М2АФБ происходит в 1,5 раза быстрее, чем на стали 08Х18Н10Т.

В пятой главе рассмотрены промышленные технологии получения биметалла АБ2-2 + 04Х20Н6Г11М2АФБ методами пакетной прокатки и сварки взрывом и представлены результаты определения его основных служебных свойств.

На изготовленную опытную партию листового проката методом пакетной прокатки и методом сварки взрывом выпущены технические условия: ТУ 0995-089-07516250-2012 «Прокат толстолистовой из двухслойной стали марки АБ2-АП».

Механические свойства основного и плакирующего слоев биметалла показали, что по пределу текучести стали АБ2-2 и 04Х20Н6Г11М2АФБ, из которых сформированы основной и плакирующий слои биметалла, независимо от способа его получения после окончательной термической обработки близки друг к другу. Испытаниями биметалла на образцах толщиной 40 мм на статическую и циклическую прочность показано, что двухслойная сталь соответствует требованиям к механическим свойствам корпусных сталей по классу прочности 620 МПа правил РМРС.

Результаты испытаний сварного соединения двухслойной плакированной стали показали отсутствие дефектов в сварных швах исследуемой, а также соответствие, величины работы удара всех зон сварного соединения требованиям «Правил постройки и классификации морских судов» к сварным соединениям корпусных судостроительных сталей.

Выводы по диссертационной работе Харькова О.А. обоснованы, отражают суть выполненных исследований, соответствуют современным научным представлениям, изложенным в технической литературе.

Обоснованность и достоверность основных положений и результатов диссертации не вызывает сомнений. Результаты исследований, изложенных в диссертации, базируются на использовании современных методов исследований; большом объеме выполненных экспериментов, результаты которых согласуются с известными данными других исследователей; положительным опытом промышленного изготовления биметалла; использовании для выполнения отдельных исследований современного оборудования и методик.

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 8 печатных работах, 6 из них – в рецензируемых научных журналах, рекомендуемых ВАК.

Отдельные разделы работы доложены на 12 всероссийских и международных конференциях. Новизна разработанного биметалла подтверждена 2 патентами РФ. Автореферат полностью отражает основное содержание диссертации.

Рекомендации по использованию результатов диссертационной работы.

Разработанный автором биметалл благодаря уникальному комплексу таких свойств, как равнопрочность слоев, надежность при воздействии статических и циклических нагрузок, сопротивление износу и высокая коррозионная стойкость, безусловно найдет применение для строительства перспективной арктической морской техники. Это подтверждается внедрением полученных результатов в ПАО «ЦКБ «Айсберг» - проектанте мощных атомных ледоколов. Кроме того, полученный опыт промышленного изготовления биметалла с равнопрочными слоями, найдет применение при создании новых коррозионно-стойких плакированных сталей отечественными разработчиками и изготовителями листовых биметаллических материалов для особо ответственных конструкций в химической, нефтеперерабатывающей и судостроительной промышленности.

По диссертационной работе можно сделать следующие замечания:

1) В разделе 4.2.2 (таблица 14) диссертации говорится о проявлении склонности к межкристаллитной коррозии стали плакирующего слоя со стороны границы соединения слоев, но на представленном рисунке 39а (стр.112) межкристаллитных трещин на загибе образца не видно. Кроме того нет пояснения может ли, с точки зрения автора, выявленное проявление склонности к МКК отрицательно отразится на служебных свойствах биметаллического листа.

2) В диссертации нет объяснения причин выбора в качестве способов промышленного производства биметалла только методов пакетной прокатки, сварки взрывом, нанесения наплавки с последующей прокаткой хотя на практике достаточно часто для получения биметаллических материалов применяется метод электрошлаковой наплавки.

3) На рисунке 64 (стр.169) экспериментальные точки циклической долговечности образцов биметалла АБ2-2 + 04Х20Н6Г11М2АФБ при испытаниях в морской воде лежат несколько выше, чем полученные при испытаниях на воздухе. Непонятно, это разброс или закономерность? В работе объяснений не дается.

Заключение

Диссертация Харькова Олега Александровича «Структура и свойства биметалла с плакирующим слоем из коррозионно-стойкой азотсодержащей стали для арктической морской техники» является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком научном уровне, в которой содержится решение актуальной научно-технической задачи – создание и исследование структуры и свойств коррозионно и эрозионно-стойкого биметалла с равнопрочными слоями для перспективной арктической морской техники.

По актуальности темы, научной новизне, практической значимости диссертационная работа полностью соответствует п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства

Российской Федерации от 24 сентября 2013г. № 842, а ее автор, Харьков Олег Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – материаловедение (машиностроение).

Доклад по диссертационной работе заслушан на заседании научно-технического совета Института материаловедения (ИМ) (протокол № 2 от 25.04.2017). В обсуждении работы принимали участие ведущие научные сотрудники АО «НПО «ЦНИИТМАШ». За предложенное заключение участники заседания проголосовали единогласно.

Заместитель Председателя НТС,

Заместитель директора Института материаловедения

ГНЦ РФ АО «НПО «ЦНИИТМАШ», к.т.н.

А. С. Орлов

Подпись Орлова А.С. заверяю

Ученый секретарь

ГНЦ РФ АО «НПО «ЦНИИТМАШ»



М.А. Бараненко