УДК 669.716:621.785

DOI: 10.35211/1990-5297-2020-6-241-36-40

*Д. В. Проничев, О. В. Слаутин, В. П. Кулевич, В. Д. Гринцов, Н. Н. Канубриков***ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ
БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЕРЕХОДНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ АД1+СТ3****Волгоградский государственный технический университет**

e-mail: mv@vstu.ru

Исследована коррозионная стойкость биметалла АД1+Ст3 и слоистого интерметаллидного композита той же системы. Установлено, что при воздействии агрессивной среды, имитирующей воздействие влажной морской атмосферы, наличие интерметаллидных включений и прослоек на границе соединения способствует замедлению коррозионных процессов.

Ключевые слова: коррозия, сварка взрывом, интерметаллиды, сталеалюминиевый композит.

*D. V. Pronichev, O. V. Slautin, V. P. Kulevich, V. D. Grintsov, N. N. Kanubrikov***RESEARCH OF THE CORROSION RESISTANCE
OF BIMETALLIC TRANSITION ADLEMENTS AD1 + ST3****Volgograd State Technical University**

The corrosion resistance of AD1 + St3 bimetal and a layered intermetallic composite of the same system was studied. It has been established that under the influence of an aggressive environment simulating the effect of a moist marine atmosphere, the presence of intermetallic inclusions and interlayers at the junction boundary helps to slow down corrosion processes.

Keywords: corrosion, explosion welding, intermetallic compounds, steel-aluminum composite.

Введение

В судостроении для облегчения конструкции судов, повышения их грузоподъемности, увеличения дальности плавания, скорости, остойчивости и т. п. активно применяется изготовление палубных надстроек из легких сплавов алюминия [1, 2].

Традиционный способ соединения элементов стальных судовых конструкций и палубных надстроек – сварка плавлением, в данном случае вызывает образование в зоне сварного шва хрупких интерметаллидных соединений алюминия и железа, что приводит к значительной потере прочности [3–5]. В связи с этим была разработана технология применения биметаллических сталеалюминиевых переходных элементов, полученных сваркой взрывом [6–9]. Эффективность этой технологии основана на том, что, благодаря высокой скорости процесса, при сварке взрывом алюминия со сталью на оптимальных режимах на границе соединения практически не образуются сплошные хрупкие интерметаллиды, а только локальные включения оплавленного металла [6–9].

Однако в дальнейшем соединение конструкций через биметаллический переходный элемент происходит по-прежнему сваркой плавлением, что при неправильно подобранной геометрии переходника может сопровождаться

прогревом зоны соединения до температур, достаточных для активации диффузионных процессов и образования хрупких интерметаллидных включений.

Полученные соединения практически весь жизненный цикл своей работы подвергаются воздействию влажной морской атмосферы, способной привести к коррозионному поражению стале-алюминиевых элементов из-за значительной разницы электрохимических потенциалов алюминия и железа.

В связи с этим, целью данной работы было исследование влияния воздействия влажной морской атмосферы на коррозионную стойкость биметаллических переходных элементов системы АД1+Ст3 в различных структурных состояниях.

Методика исследований

В качестве материала для исследования был выбран биметалл состава АД1+Ст3, полученный сваркой взрывом на режимах, обеспечивающих формирование прочного соединения слоев с образованием на границе минимального количества оплавов (не более 10 % по длине).

Кроме того, для определения влияния диффузионных прослоек на коррозионную стойкость биметалла и его протекторные свойства, были испытаны образцы после высокотемпера-

турной термообработки в печи SNOL 8.2/1100 (температура 640 °С в течение 5 часов). Такой режим позволил сформировать на границе соединения диффузионную прослойку суммарной толщиной 80–100 мкм, а сама конструкция композиции представляла собой слоистый металл-интерметаллидный композит (СМИК) [10, 11].

Коррозионные испытания в соответствии с ГОСТ 9.919–90 проводились на установке типа «штоковое коромысло» в среде 3 %-ного раствора NaCl с переменным погружением по циклу 10/50 минут (погружение/извлечение) в течение 90 суток при температуре 20–25 °С.

В испытаниях участвовали два типа образцов из композиционных материалов: биметалл после сварки взрывом и СМИК системы Al-Fe. Одновременно, в качестве базы для сравнения, аналогичному коррозионному испытанию подверглись образцы из Ст3 и АД1, погружаемые в общую коррозионную среду и образцы из Ст3 испытываемые в изолированной ванне.

Коррозионное поражение оценивалось металлографическим способом с применением оптической микроскопии (модульный моторизованный микроскоп Olympus BX61 с фиксацией изображения цифровой камерой DP-12). Методика оценки заключалась в установлении глубины коррозионных язв и относительной протяженности поражения вдоль границы соединения.

Кроме того, в соответствии с ГОСТ 9.919–90 [12] на весах ViBRA HT 224 RCE с точностью до 0,001 г оценивалась потеря массы и за-

тем рассчитывалась скорость коррозионного поражения.

Результаты и их обсуждение

Длительное воздействие коррозионной среды, имитирующей влажную морскую атмосферу, на биметалл состава АД1+Ст3 вызвало развитие коррозионного поражения (рис. 1) как по длине границы соединения, так и, по мере развития процесса, по всей поверхности алюминиевого слоя. На 30 суток разрушение охватило 75 % границы соединения и достигло 93 % к концу эксперимента (рис. 2). На начальном этапе коррозия концентрировалась на участках оплавленного металла, что характерно для этой системы [13], затем распространялась по всей поверхности слоя АД1. Глубина язв росла от 180–200 мкм после 30 суток испытания до 450–460 мкм к концу эксперимента (рис. 3, 4). При этом практически не происходило разрушения стального слоя, несмотря на образование на поверхности небольшого количества продуктов коррозии железа.

В СМИК присутствие между слоями алюминия и стали диффузионной интерметаллидной прослойки привело к тому, что коррозионное поражение начало развиваться на границе соединения алюминия с диффузионной прослойкой. При этом разрушение концентрировалось в слое АД1, сама же диффузионная прослойка не страдала. На границе между сталью и диффузионной прослойкой также следов коррозионного поражения, металлографически не обнаружено (рис. 1, в, г).

Рис. 1. Коррозионное поражение биметалла состава АД1+Ст3 (а, б) и СМИК системы Al-Fe (в, г) после воздействия агрессивной среды в течение 30 (а, в) и 90 (б, г) суток

В СМИК развитие коррозии по длине границы соединения проходило так же, как и на биметалле (рис. 2), но скорость процесса оказа-

лась несколько ниже (на 15–25 %). Аналогично наблюдается замедление развития коррозионных язв на 17–27 % (рис. 3, 4).

Рис. 2. Изменение относительной протяженности коррозионного поражения по длине границы соединения слоев за время испытания:

1 – биметалл состава АД1+Ст3; 2 – СМИК системы Al-Fe

Рис. 3. Изменение глубины коррозионного поражения по длине границы соединения слоев за время испытания:

1 – биметалл состава АД1+Ст3; 2 – СМИК системы Al-Fe

а (185 мкм)

б (135 мкм)

в (460 мкм)

г (380 мкм)

Рис. 4. 3d-реконструкция коррозионных язв, образовавшихся после воздействия агрессивной среды в течение 30 (а, б) и 90 (в, г) дней на биметалл состава АД1+Ст3 (а, в) и СМИК (б, г) системы Al-Fe

Расчетная оценка потери массы и скорости коррозии также показала, что в обоих переходных элементах (биметалл состава АД1+Ст3 и СМИК системы Al-Fe) развивается коррозионный процесс, однако его интенсивность гораздо ниже, чем у углеродистой стали Ст3, разница в потере массы составляет 101–107 % (рис. 5, а), замедление коррозии достигает 93–97 % (рис. 6, а).

Анализ полученных данных позволил установить, что разрушение элемента, изготовленного из биметалла состава АД1+Ст3 с оплавками на границе происходит быстрее, чем элемента из СКМ с интерметаллидной прослойкой системы (Al-Fe) на границе соединения как по потере массы (на 60–80 %), так и по скорости поражения (40–80 %).

Рис. 5. Потеря массы образцов в процессе коррозионных испытаний:

1 – Ст3; 2, 3 – Ст3 и АД1, погружаемые в общую коррозионную среду; 3 – биметалл состава АД1+Ст3; 4 – СМПК системы Al-Fe

Рис. 6. Скорость коррозионного поражения в процессе испытаний:

1 – Ст3; 2, 3 – Ст3 и АД1, погружаемые в общую коррозионную среду; 4 – биметалл состава АД1+Ст3; 5 – СМПК системы Al-Fe

Такая разница в скорости разрушения переходных элементов, по-видимому, связана с тем, что оплавки, находящиеся на границе соединения слоев биметалла, содержат большое количество мелкодисперсных включений, обладающих значительной разницей в электрохимических потенциалах, которые ускоряют коррозионные процессы [13, 14]. Интерметаллидная прослойка имеет другую структуру [15] и в условиях воздействия коррозионной среды более устойчива.

Таким образом, можно утверждать, что интерметаллидные прослойки наряду с ухудшением прочностных характеристик, несколько повышают стойкость биметаллов состава АД1+Ст3 к коррозии.

Выводы

1. Воздействие влажной морской атмосферы на сталеалюминиевые переходные элементы, применяемые для соединения палубных конструкций, может приводить к активации коррозионных процессов. Наиболее подвержены разрушению границы соединения с участками оплавленного металла, образовавшиеся при сварке взрывом и состоящие из структур-

ных элементов со значительной разницей электрохимических потенциалов, при этом общая скорость коррозии для переходного элемента составляет 0,030 г/м² сут.

2. Появление на границе соединения алюминия и стали интерметаллидных прослоек замедляет коррозионные процессы, скорость разрушения снижается до 0,008 г/м² сут. Таким образом установлено, что сплошные интерметаллидные включения, в отличие от включений оплавленного металла, не являются центрами коррозионного разрушения, а, напротив, замедляют коррозию.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Александров, В. Л. Судостроительное предприятие в условиях рынка / В. Л. Александров, А. В. Перельгин, В. Ф. Соколов. – СПб. Судостроение. – 2003. – 427 с.
2. Доброленский, В. П. Плазовые работы. Изготовление деталей корпуса. Секционная и стапельная сборка. КТС – 4 / В. П. Доброленский, А. В. Догадин, Е. И. Никитин, А. С. Роганов [и др.]. – СПб. : Изд. центр СПбГМТУ, 1997. – 72 с.
3. Современные способы сварки алюминиевых сплавов со сталями (Обзор) / Д. М. Калеко // Автоматическая сварка. – 2012. – № 10 (714). – С. 29–36.
4. Биметаллические сталеалюминиевые соединения в судостроительных корпусных конструкциях / А. С. Оры-

щенко, Е. П. Осокин, В. И. Павлова, С. А. Зыков // Автомат. сварка. – 2009. – № 10. – С. 43–47.

5. *Рябов, В. Р.* Сварка плавлением алюминия со сталью / В. Р. Рябов. – Киев : Наук. думка, 1969. – 232 с.

6. *Трыков, Ю. П.* Слоистые композиты на основе алюминия и его сплавов : монография / Ю. П. Трыков, Л. М. Гуревич, В. Г. Шморгун. – М., 2004. – 230 с.

7. *Трыков, Ю. П.* Композиционные переходники : монография / Ю. П. Трыков, Л. М. Гуревич, Д. В. Проничев ; ВолгГТУ. – Волгоград, 2007. – 328 с.

8. *Трыков, Ю. П.* Диффузия в слоистых композитах : монография / Ю. П. Трыков, Л. М. Гуревич, В. Н. Арисова ; ВолгГТУ. – Волгоград, 2006. – 402 с.

9. *Трыков, Ю. П.* Свойства и работоспособность слоистых композитов : монография / Ю. П. Трыков, В. Г. Шморгун ; ВолгГТУ. – Волгоград, 1999. – 189 с.

10. *Шморгун, В. Г.* Комплексные технологические процессы получения слоистых интерметаллидных композитов / В. Г. Шморгун, Ю. П. Трыков, О. В. Слаутин // Конструкции из композиционных материалов, 2005. – № 3. – С. 3–10.

11. Слоистые интерметаллидные композиты и покрытия : монография / Л. М. Гуревич, В. Г. Шморгун, О. В. Слаутин, А. И. Богданов. – Москва, 2016. – 346 с.

12. ГОСТ 9.913–90 Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Алюминий, магний и их сплавы. Методы ускоренных коррозионных испытаний, Дата введения 01.07.91.

13. Investigation on the corrosion resistance of Al-Steel laminated composite Pronate D Garioch L Trinova M Mastrov V, Contemporary Engineering Sciences (2015) 8(21-24) 1083-1090

14. Коррозия алюминия и алюминиевых сплавов / под ред. Джозефа Р. Дейвиса ; пер. с англ. – М. : НП «АПРАЛ», 2016. – 315 с.

15. *Гуревич, Л. М.* Исследование коррозионной стойкости интерметаллидного покрытия на стальной подложке / Л. М. Гуревич, Д. В. Проничев, С. П. Писарев, А. Г. Серов, Н. А. Артемьев, Н. В. Кривченко // Известия ВолгГТУ : научный журнал №10 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2017. – С. 21–26.