

ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ К КОРРОЗИИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ

Ягьяев Э.Э., Валиев Э.В., Спичка М.А., Томников А.И.

*Крымский инженерно-педагогический университет имени Февзи Якубова,
Симферополь*

Ключевые слова: лазерная абляция, сварные соединения, межкристаллитная коррозия, микротвердость.

Аннотация. В статье предложен метод защиты алюминиевых сплавов от межкристаллитной коррозии обработкой сварных стыков излучением лазером наносекундной длительности. Выполнены экспериментальные исследования по модифицированию поверхности сварного шва методом лазерной абляции. В работе проведены испытания на межкристаллитную коррозию образцов. Проведенные исследования показывают, что изменения морфологии поверхности образцов влияют на интенсивность коррозионных процессов.

INCREASING THE CORROSION RESISTANCE OF WELDED JOINTS OF ALUMINUM ALLOYS BY THE METHOD OF LASER ABLATION

Yagyaev E.E., Valiev E.V., Spichka M.A., Tomnikov A.I.

*Crimean Engineering and Pedagogical University named after Fevzi Yakubov,
Simferopol*

Keywords: laser ablation, welded joints, intergranular corrosion, microhardness.

Abstract. The article proposes a method for protecting aluminum alloys from intergranular corrosion by treating welded joints with nanosecond laser radiation. Experimental studies on the modification of the surface of the welded seam by the laser ablation method have been carried out. In the work, tests for intergranular corrosion of samples were carried out. The conducted studies show that changes in the surface morphology of the samples affect the intensity of corrosion processes.

Важной проблемой в судостроении, является обработка алюминиевых сплавов. Чаще всего вследствие высокой коррозионной стойкости и хорошей свариваемости применяются сплавы системы Al-Mg. В морской воде магналии подвержены межкристаллитной и расслаивающей коррозии, на которую наибольшее влияние оказывает содержание кислорода, концентрация хлорид-ионов. Стойкость к коррозии заметно понижается с увеличением количества легирующего элемента, что связано с пересыщением твердого раствора и избирательным выделением β – фазы по границам зерен [1]. Литературный обзор показывает, что для защиты от коррозии используется термомеханическая обработка сплавов, приводящая к гомогенизации структуры, нанесение церий-, цирконий-, титано содержащих защитных покрытий, введение легирующих добавок [2-3].

Перспективным способом защиты от коррозии является обработка поверхности лазерным излучением наносекундной длительности. Лазерную абляцию рассматривают как нелинейный процесс разрушения твердого вещества лазерным импульсом [4-5]. Анализ публикаций показывает, что использование

лазерной абляции для повышения коррозионной стойкости сварных соединений сплавов системы Al-Mg исследованы недостаточно.

Цель работы установление зависимости стойкости к межкристаллитной коррозии от режимов лазерной абляции сплава АМг6.

Модифицирование поверхности сварного шва методом лазерной абляции было проведено на экспериментальной установке «Fmark-100 NS», с волоконным иттербиевым лазером, IPG Photonics. На сплав АМг61 [6] воздействовали лазерным излучением длиной волны 1,064 мкм с длительностью импульса 10-200 нс и максимальной энергией в импульсе – 5 мДж. Поверхности образцов были отполированы для удаления естественного слоя окисления и загрязнения. Воздействие происходило в воздушной среде, мощность излучения варьировали в пределах 35-40 Вт с частотой повторения импульса – 100 кГц, скорость обработки 400 мм/с, плотность заливки 25 линий на 1 мм поверхности.

Испытания на межкристаллитную коррозию алюминиевых сплавов проводили в соответствии с ГОСТ 9.021-74 [7]. Плоские образцы из сплава АМг61 размером 150 x 100 x 0,5 мм, предварительно взвешенные на аналитических весах ВЛ-224В с точностью до 0,0001 г. Для проведения испытаний в качестве агрессивной среды был выбран 3% раствор хлорида натрия плотностью 1,02 г/см³ и 1% раствор соляной кислоты плотностью 1,19 г/см³, пластины выдерживали в течение 24 часов при температуре 20°C, которую поддерживали с точностью $\pm 2^\circ\text{C}$.

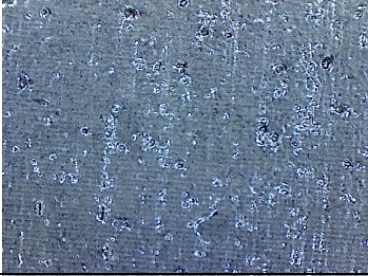
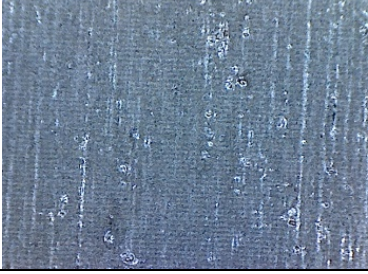
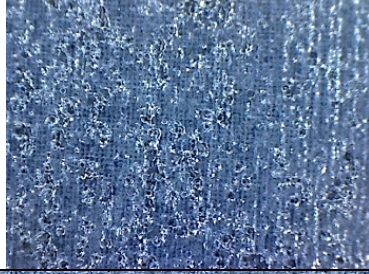
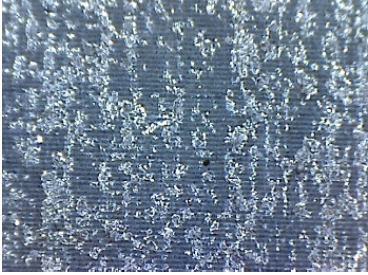


Рис. 1. Образцы из сплава АМг61

Склонность к межкристаллитной коррозии оценивали по внешнему виду образцов, характеру коррозионных поражений, глубине поражения и интенсивности ее распространения по поверхности шлифа [7]. Проведение испытаний на межкристаллитную коррозию показало, что необработанный сплав и обработанные лазером образец 5 коррозия не затронула. На поверхности образцов 2, 3, и 4 обнаруживаются единичные питтинги, которые в естественных условиях могут привести к появлению межкристаллитной коррозии (табл. 1). Возникновение питтингов можно объяснить изменением морфологических свойств поверхности аблированных образцов, на которой возникают оксидные

слои различной толщины, и эти неоднородности усиливается с увеличением мощности излучения и вида обработки. Уменьшение толщины оксидной пленки ведет к формированию каналов с ионной проводимостью, способствующих развитию очагов коррозионных процессов, при этом сплошность оксидной пленки не нарушается.

Табл. 1. Поверхность сплава марки АМг61 до и после испытаний на межкристаллитную коррозию

№	Мощность импульса, P , Вт	Среда/ Направление линий сканирования	Изображение поверхности	
			до испытаний на МКК x150	после испытаний на МКК x150
1.		Контрольный		
2.	35	Воздух/ Параллельное		
3.	35	Воздух/ Перекрестное		
4.	40	Воздух Перекрестное /		
5.	40	Воздух / Параллельное		

Поверхности образцов 4, 5 более высокоразвитые, увеличение мощности излучения до 40 Вт и перекрёстное направление линий сканирования способствует получению частой сетки двухуровневых микро- и наноконусов, на которых, при контакте с агрессивной водной средой, возникают воздушные зазоры между раствором и наноструктурами, приводящие к гидрофобности поверхности и повышению устойчивости к коррозии.

Оценка механических свойств методом Бринелля показала увеличение микротвердости образцов после лазерной обработки. Как видно из графика, приведенного на рисунке 2, лазерная обработка в воздухе с перекрестным направлением линий сканирования при значении мощности излучения 35 Вт повышает микротвёрдость сплава с 464 НВ до 494 НВ и при 40 Вт в воздухе с параллельным направлением линий достигает 512 НВ (рис. 2). При перекрестной обработке 40 Вт микротвердость образца 4 снижается, это можно объяснить, разрыхлением структуры поверхности.



Рис. 2. Микротвердость по Бринеллю образцов после лазерной обработки

Заключение

1. При лазерной абляции развитая микроструктурированная поверхность, полученная при более высоких мощностях излучения, обладает гидрофобностью.

2. Установлены оптимальные параметры абляции, при которых достигается максимальная микротвердость и отсутствие очагов межкристаллитной коррозии (образец №5).

Список литературы

1. Синявский В.С., Вальков В.Д., Калинин В.Д. Коррозия и защита алюминиевых сплавов. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1986. – 368 с.
2. Ганиев И.Н., Алиев Ф.А., Одиназода Х.О., Сафаров А.М., Усмонов Р. Коррозия алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (алдрей), легированного индием // Известия высших учебных заведений. Материалы электронной техники. – 2020. – Т. 23, №2. – С. 151-161.
3. Zhang X. Atmospheric Corrosion Of Zinc-Aluminum And Copperbased Alloys In Chloride-Rich Environments. – Stockholm, Sweden, Elseiver, 2014. – 92 p.
4. Ягьяев Э.Э., Аметов И.Э., Абхаирова С.В. Сравнительный анализ изменения состава поверхностной структуры некоторых сплавов при лазерной абляции в зависимости от

- характера окружающей среды // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. – 2022. – № 1(75). – С. 233-237.
5. Шиганов И.Н., Шахов С.В., Лукин В.И., Йода Е.Н. и др. Особенности лазерной сварки термоупрочненного алюминиевого сплава АД37 // Сварочное производство. – 2003. – № 12. – С. 34-39.
 6. ГОСТ 4784 – 74 Алюминий и сплавы алюминиевые деформируемые. – М.: Издательство стандартов, 2000. – 10 с.
 7. ГОСТ 9021-74 Единая система защиты от коррозии и старения. Алюминий и сплавы алюминиевые. Методы ускоренных испытаний на межкристаллитную коррозию. – М.: Издательство стандартов, 1983. – 6 с.

Сведения об авторах:

Ягьяев Эльмар Энверович – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой электромеханики и сварки;

Валиев Энвер Вилиуллаевич – старший преподаватель кафедры электромеханики и сварки;

Спичка Михаил Александрович – магистрант;

Томников Андрей Игоревич – магистрант.