

УДК 669.7:624.01

ПОВЫШЕНИЕ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЛЕГИРОВАНИЕМ СВАРОЧНОЙ ПРОВОЛОКИ

канд. техн. наук, доц. **О.В. ШУМОВ**
(Полоцкий государственный университет)

Рассмотрены некоторые подходы к улучшению свойств сварных соединений, в частности повышению их коррозионной стойкости. Изменение коррозионной стойкости исследовалось для стыковых сварных соединений из высокопрочного алюминиевого сплава. Предложено повысить величину коррозионной стойкости за счет легирования сварочной проволоки электрохимическим осаждением покрытия состава марганец – хром – цинк и соответствующих режимов термической обработки. Определены показатели прочности сварных соединений в зависимости от режимов их термической обработки при дуговой стыковой сварке сплава в среде аргона легированной сварочной проволокой. По результатам исследований построены кривые старения, что позволило установить оптимальные режимы последующей термической обработки для обеспечения максимальной коррозионной стойкости сварных соединений. Указанные мероприятия обеспечили повышение коррозионной стойкости соединений в среднем на 15 % по сравнению с коррозионной стойкостью соединений, полученных при сварке обычной сварочной проволокой.

Введение. Анализ статистики разрушений строительных конструкций подтверждает значимость влияния эксплуатационных факторов в разрушении материалов. Характер разрушения, его механизмы определяются такими условиями эксплуатации, как температура, силовые воздействия, влияние среды и т.п. При этом срок службы конструкции зависит от деградиационных процессов, в том числе коррозионного повреждения элементов конструкции и ухудшения механических свойств материалов [1; 2].

При изготовлении сборно-разборных конструкций (башен, мачт, вышек и т.п.) достаточно эффективно использование алюминиевых сплавов, благодаря чему достигается снижение массы и повышение срока службы конструкции, уменьшение расходов на эксплуатацию и транспортировку, удешевление фундаментов и упрощение операций по установке и демонтажу. Высокопрочные алюминиевые сплавы также широко применяются для изготовления обшивки, шпангоутов, силовых каркасов и т.д. Данные сплавы более прочные по сравнению с дюралюминами, но менее пластичны и обладают большей чувствительностью к концентраторам напряжений, а также пониженной коррозионной стойкостью под напряжением [3; 4].

Принято считать, что эксплуатация конструкций из данных сплавов при температурах значительно ниже температур заключительной термической обработки не вызывает существенного изменения их свойств. Однако опыт эксплуатации конструкций показывает, что длительный низкотемпературный нагрев приводит к ухудшению свойств конструкций из алюминиевых сплавов, в частности, коррозионной стойкости. Так, по данным наблюдений под действием солнца температура отдельных частей конструкции в теплое время года может достигать 60...70 °С [5]. Изменение климата, увеличение суммарного количества теплого времени до 1000 часов ежегодно обуславливают актуальность проблемы низкотемпературного нагрева конструкции и ухудшение вследствие этого свойств её сварных соединений.

Цель данной работы – повышение коррозионной стойкости сварных соединений деталей из высокопрочных алюминиевых сплавов.

Основная часть. Сварные швы высокопрочных алюминиевых сплавов состава Al – Zn – Mg более подвержены коррозии под напряжением, чем основной металл. Это связано с изменением химического состава и структуры металла при сварке, с возникновением дефектов в сварных швах и внутренних остаточных напряжений, повышенным содержанием легкоплавких элементов по границам зерен и рядом других причин. Например, локальная концентрация цинка в сварных швах сплавов В95 может изменяться от 2,8 до 8 % при номинальном его содержании 4,3 % [6].

Так как при низкотемпературном нагреве процесс распада твердого раствора и перераспределение легирующих элементов идет очень медленно, то существенное ухудшение механических и коррозионных свойств металла происходит за достаточно большой период времени [7]. В процессе длительной эксплуатации конструкций из алюминиевых сплавов под действием коррозионной среды, приложенных нагрузок и т.п. происходит замедленное разрушение металла. При этом разрушение конструкции происходит главным образом в сварных соединениях, т.е. в местах, подвергнутых наиболее интенсивному тепловому воздействию при изготовлении конструкций. Последствия теплового воздействия при сварке – образование пересыщенного твердого раствора, разупрочнение сплава, скопление примесей и вакансий по границам зерен, дисперсионное твердение зерен и разупрочнение границ зерен ме-

талла, возникновение остаточных сварочных напряжений и т.п. – способствуют замедленному разрушению алюминиевых сплавов.

Для изготовления конструкций высокопрочные сплавы используются после закалки и естественного или искусственного старения. При этом все стареющие алюминиевые сплавы характеризуются примерно одинаковой закономерностью изменения физико-механических, технологических, коррозионных свойств [8]. В процессе старения высокопрочных алюминиевых сплавов распад пересыщенного твердого раствора проходит в три стадии:

- образование когерентных с матрицей зон Гинье – Престона, или зонное старение. На стадии зонного старения все сплавы характеризуются низким сопротивлением начальной пластической деформации, большой пластичностью, высокой вязкостью разрушения, высоким сопротивлением коррозионному растрескиванию;

- образование частично когерентных матрице метастабильных фаз – фазовое старение. В этом случае по сравнению со стадией зонного старения резко возрастает сопротивление начальной пластической деформации, значительно повышается предел текучести, снижается пластичность, снижается сопротивление коррозии под напряжением;

- образование некогерентных матрице стабильных фаз – коагуляционное старение. На данной стадии происходит переход через максимум и снижение пределов прочности и текучести сплавов, повышение пластичности. Кроме того, идет выравнивание электрохимического потенциала по сечению металла, что сопровождается резким повышением сопротивления коррозии под напряжением.

Для повышения коррозионной стойкости сварных швов алюминиевых сплавов, снижения неоднородности структуры и химического состава металла возможно насыщение сварочной проволоки легирующими элементами, уменьшающими диффузионную подвижность элементов алюминиевого сплава, в частности цинка и магния. Подобным образом действуют, в частности, хром, марганец, никель [9]. Кроме того, эффективным также является введение в свариваемый металл легирующих элементов, способствующих измельчению зерна, а следовательно, замедлению движения дефектов и дислокаций в металле, что затрудняет диффузионное перераспределение элементов. Такими легирующими элементами могут быть титан, цирконий и т.п. [10; 11].

Для уменьшения отрицательных последствий закалочных напряжений и снижения склонности к коррозионному растрескиванию используется последующий нагрев деталей до температуры пластического течения металла [12]. Для алюминиевых сплавов режимы такого нагрева – температура и длительность – подбираются на основе режимов старения.

Таким образом, показатель коррозионной стойкости, уровень механических свойств сварных соединений в значительной степени зависят от количества структурных составляющих алюминиевого сплава, их формы и взаимного расположения. За счет изменения режимов термической обработки, системы легирования и содержания легирующих элементов возможно в широком диапазоне изменять коррозионные, прочностные и другие свойства сварных соединений упрочняемых алюминиевых сплавов.

На основе указанных подходов для повышения коррозионной стойкости сварных соединений нами использовалась легированная сварочная проволока и соответствующие режимы термической обработки. Для исследования были взяты образцы из сплава В92Ц, который за счет высокой степени легирования имеет невысокую критическую скорость охлаждения и является самозакаливающимся.

Таким образом, исследовалось влияние легирования сварочной проволоки комплексом легирующих элементов «хром – марганец – цинк» и режимов термической обработки на коррозионную стойкость сварных соединений деталей из высокопрочного алюминиевого сплава В92Ц.

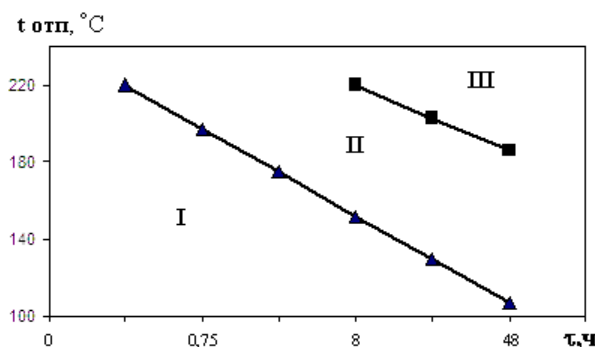
Легирование сварочной проволоки осуществлялось за счет электрохимического осаждения покрытия состава хром – марганец – цинк. Образцы для исследования коррозионных свойств сварных соединений получали дуговой стыковой сваркой листов из сплава В92Ц толщиной 4 мм проволокой диаметром 3 мм. Сварка выполнялась вольфрамовым электродом диаметром 3 мм на переменном токе в среде аргона. Структуру сварных соединений исследовали методом металлографическим анализа на шлифах, выполненных по ГОСТ 1778-70. Показатели прочности на разрыв сварных соединений определялись по ГОСТ 1497-84 на образцах, равных по толщине основному металлу.

При исследовании свойств сварных соединений учитывались условия эксплуатации элементов конструкций. Многие промышленные объекты работают в различных коррозионных средах (сероводородной, сернистой, азотистой и т.п.), при эксплуатации конструкция находится под действием силовых факторов технологического процесса, поэтому учитывалось коррозионное воздействие среды и проводились испытания коррозионной стойкости под напряжением.

Коррозионная стойкость сварных соединений оценивалась по ГОСТ 9.019-74. Образцы на коррозионную стойкость испытывались методом заданной одноосной растягивающей нагрузки, напряжение от

которой составляло $0,9\sigma_{0,2}$. Испытания проводились при постоянном погружении в 3 %-ный раствор хлористого натрия при температуре 20 °С. Смена раствора производилась каждые 15 суток.

Для определения оптимальных с точки зрения коррозионной стойкости режимов термической обработки были построены диаграммы старения сварных соединений деталей из алюминиевого сплава В92Ц. Диаграммы в координатах «температура – логарифм времени выдержки при заданных температурах» построены по характерным точкам кинетических кривых старения (рисунок).



Старение сварных соединений из сплава В92Ц:

I – область зонного старения; II – область фазового старения;

III – область коагуляционного старения ($t_{отп}$ – температура старения, °С; τ – длительность старения, ч)

Переход от зонного к фазовому старению на кинетических кривых фиксировался по начальной стадии второго повышения предела прочности сварного соединения. При этом границы между областями зонного и фазового старения строились по значениям выдержек времени при соответствующих температурах, характеризующих второй подъем прочности. Граница между областями фазового и коагуляционного старения фиксировалась по максимумам предела текучести, которые достигались позднее или одновременно с максимальными значениями предела прочности.

Для обеспечения оптимального комплекса эксплуатационных свойств после сварки образцы сварных соединений подвергались термической обработке. Было использовано двухступенчатое старение на специальных режимах с постепенно увеличивающейся температурой: режим 1; режим 2; режим 3.

Значения коррозионной стойкости сварных соединений при сварке обычной проволокой из сплава В92Ц и легированной для различных режимов термической обработки приведены в таблице.

Коррозионная стойкость сварных соединений алюминиевого сплава, суток

Сварочная проволока	Режимы термической обработки		
	1	2	3
Обычная	15	20	19
Легированная	18	22	23

Исследования показали увеличение коррозионной стойкости сварных соединений деталей из алюминиевого сплава при легировании сварочной проволоки марганцем, цинком и хромом.

Из таблицы видно, что после двухступенчатого старения соединения из алюминиевого сплава, сваренные легированной проволокой, обладают коррозионной стойкостью на 15 % больше, чем соединения из алюминиевого сплава, сваренные обычной проволокой. Установлено, что оптимальной термической обработкой является старение по режиму 3.

Заключение. В представленной работе для повышения коррозионной стойкости сварных соединений деталей из высокопрочного алюминиевого сплава В92Ц предлагается использовать сварочную проволоку из того же сплава, дополнительно легированную хромом, марганцем и цинком. Легирование сварочной проволоки производилось путем электрохимического осаждения покрытия состава хром – марганец – цинк. Также было исследовано влияние режимов термической обработки и состава сварочной проволоки на коррозионную стойкость сварных соединений. Оптимальные режим термической обработки и состав сварочной проволоки определялись путем построения кривых старения образцов сварных соединений и определения областей зонного, фазового и коагуляционного старения. Установлено, что

максимальная стойкость сварных соединений в условиях коррозии под напряжением сваренных легированной проволокой деталей из алюминиевого сплава обеспечивается при эксплуатации в стадии коагуляционного старения.

Проведенные исследования показали, что для сварных соединений деталей из алюминиевого сплава, изготовленных с применением легированной сварочной проволоки и подвергнутых старению на подобранных режимах термической обработки, наблюдается увеличение коррозионной стойкости в среднем на 15 % по сравнению с деталями, сваренными сварочной проволокой из сплава В92Ц без легирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кикина, С.И. Сопротивление разрушению алюминиевых сплавов / С.И. Кикина. – М.: Металлургия, 1982. – 280 с.
2. Герчикова, Н.С. Тонкая структура и коррозионное растрескивание алюминиевых сплавов / Н.С. Герчикова. – М.: Металлургия, 1982. – 128 с.
3. Применение алюминиевых сплавов / под ред. Р.Б. Шалина. – М.: Металлургия, 1983. – 280 с.
4. Грибов, Г.В. Экономическая эффективность и перспективы применения в строительстве конструкций из алюминиевых сплавов / Г.В. Грибов. – М.: Стройиздат, 1976. – 119 с.
5. Елагин, В.И. Структура и свойства сплавов системы Al – Zn – Mg / В.И. Елагин, В.В. Захаров, А.М. Дриц. – М.: Металлургия, 1982. – 280 с.
6. Куликов, В.П. Технология сварки плавлением / В.П. Куликов. – Минск: Дизайн ПРО, 2001. – 256 с.
7. Стеклов, О.И. Мониторинг и прогноз ресурса сварных конструкций с учетом их старения и коррозии / О.И. Стеклов // Сварочное производство. – 1997. – № 11. – С. 16 – 21.
8. Металловедение алюминия и его сплавов / А.И. Беляев [и др.]. – М.: Металлургия, 1983. – 280 с.
9. Лахтин, Ю.М. Материаловедение / Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева. – М.: Машиностроение, 1990. – 528 с.
10. Моисеенко, В.П. Материалы и их поведение при сварке / В.П. Моисеенко. – Ростов н/Д: Феникс, 2009. – 300 с.
11. Deo M., Michaleris P. // Technol. Welding Joining. – 2003. – № 8. – P. 49 – 54.
12. Стеклов, О.И. Стойкость материалов и конструкций к коррозии под напряжением / О.И. Стеклов. – М.: Машиностроение, 1990. – 383 с.

Поступила 18.04.2011

INCREASING OF CORROSION RESISTANCE OF WELDING SEAMS BY ALLOYED WELDING WIRE

O. SHUMOV

In this work some approach to increase the corrosion resistance of welding seams are considered. Increasing of corrosion resistance of joint welding parts of aluminum alloy was reached. The corrosion resistance was increased by alloying of welding wire by galvanic precipitation of Mn – Zn – Cr coating and corresponding heat treatment conditions. Strength value of welding seams depending on the heat treatment conditions in argon shielded joint welding with alloyed welding wire was defined. The ageing functions based on the research results was evaluated, that permitted to optimize the subsequent heat treatment conditions to reach the maximal corrosion resistance of welding joint. The use of this measures increased the corrosion resistance of welding seams gone up by 15 % in comparison with corrosion resistance of seams welded by simple welding resistance.