

УДК 621.791.

Трофимов А. В., Трембач И. А., Трембач Б. А.

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ИМПУЛЬСНО-ДУГОВОЙ СВАРКИ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АМГ5 БОЛЬШИХ ТОЛЩИН

Широкое применение находят корпусные конструкции из алюминий-магниевого сплава благодаря высокой удельной прочности и коррозионной стойкости, которые не требуют специальной термической обработки [1]. Также эти сплавы обладают хорошей свариваемостью. Из этих сплавов изготавливают детали большого сечения, например, заготовки в виде плит толщиной 50–100 мм и более.

Соединение таких деталей обычно получают многопроходной электродуговой сваркой. Однако этот способ сварки обеспечивает весьма нестабильный коэффициент прочности швов $K = 0,85–0,95$ прочности основного металла.

Равнопрочность всех зон сварного соединения и основного металла можно достигнуть прокаткой роликами металла шва и околошовной зоны, а также путем увеличения содержания магния в присадочной проволоке [2].

Основные результаты исследований по работе были опубликованы в работе К.П. Шاپовалова, А.Е. Мерзлякова, В.Я. Герашенко и др.

Целью данной работы является аттестация технологического процесса механизированной сварки в защитных газах толстостенных конструкций из алюминий-магниевого сплава АМГ5, при обеспечении равнопрочности металла шва основному металлу.

В рамках выполнения научно-исследовательской работы по теме «Разработка технологии механизированной сварки алюминий-магниевого сплава больших толщин» разработана технология изготовления сварной конструкции «Шайба», которая входит в состав установки «Циклотрон Ц-80», предназначенной для исследований в области атомной физики.

Составной частью этой установки является вакуумная камера, каркас которой состоит из двух восьмигранных шайб и восьми стоек. Шайбы изготовлены из алюминий-магниевого сплава АМГ5, толщина которой составляет 70 мм. Ввиду больших размеров шайб изготовить их из цельной плиты не представлялось возможным. Поэтому разработана сварная конструкция, состоящая из 4-х частей. Для аттестации технологического процесса сварки было принято решение об изготовлении контрольных сварных соединений.

Основным способом сварки алюминия и его сплавов, который используется на ПАО «НКМЗ», является способ ручной аргонодуговой сварки неплавящимся электродом. Имеется опыт сварки тонколистовых конструкций. Однако этот способ сварки характеризуется малой производительностью процесса, поэтому его используют для сварки металла малых и средних толщин. Альтернативой ручной аргонодуговой сварке неплавящимся электродом является механизированная сварка плавящимся электродом в среде инертных газов.

Исследования показывают [2], что одним из решающих факторов улучшения качества швов, уменьшения сварочных деформаций и увеличения производительности является применение механизированного способа сварки плавящимся электродом взамен ручной аргонодуговой сварки неплавящимся электродом.

Основным недостатком этого способа является большая вероятность образования пор в сварных швах. Этот недостаток устраняется при использовании способа импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом в среде защитных газов. Этот способ сварки обеспечивает струйный перенос металла в широком диапазоне режимов сварки, что обеспечивает отсутствие разбрызгивания и хорошее формирование сварных швов. При сварке импульсной дугой по сравнению со сваркой стационарной дугой значительно уменьшается пористость металла шва, несколько возрастает прочность сварных соединений.

Сплав АМГ5 относится к деформируемым термически неупрочняемым алюминий-магний-магний сплавам.

В табл. 1 приведен химический состав сплава АМг5 и присадочного металла, приведенные в сертификатах производителей. В табл. 2 приведены значения механических свойств сплава АМг5.

Таблица 1

Химический состав сплава АМг5 и присадочного металла

Металл	Содержание, %								
	Al	Mg	Mn	Fe	Si	Zn	Cu	Ti	Be
Основной	осн.	5,7	0,50	0,20	0,10	0,03	0,05	0,05	0,0006
Присадочный	осн.	4,8	0,15	0,14	0,05	0,01	0,01	0,09	0,0001

Таблица 2

Механические свойства сплава АМг5

Марка сплава	Толщина плиты, мм	Механические свойства при растяжении		
		σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ , %
АМг5	90	270	120	18

Изготовление контрольных сварных соединений с целью аттестации технологического процесса сварки выполняли согласно требованиям стандарта ISO 15614-2:2005 [3], согласно которому необходимо изготовить стандартный образец.

Согласно ГОСТ 14806-80 «Дуговая сварка алюминия и алюминиевых сплавов в инертных газах. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры», максимальная толщина свариваемого металла ограничена 60 мм. Поэтому, учитывая толщину металла 90 мм, использовалась нестандартная разделка кромок (рис. 1) подобно типу соединения С27 (двусторонняя, с двумя симметричными ломаными скосами кромок).

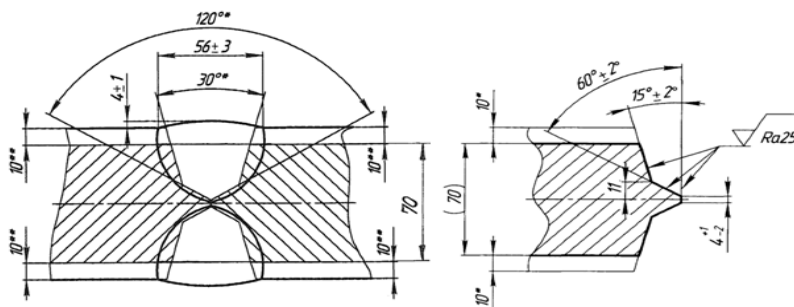


Рис. 1. Разделка кромок под сварку

Основные трудности при сварке алюминиево-магниевых сплавов: склонность к порообразованию, высокая теплопроводность, образование окисла Al_2O_3 в виде тугоплавкой пленки на поверхности деталей, высокий коэффициент линейного расширения.

Высокая теплопроводность алюминиевых сплавов в сочетании с изменением механических свойств при нагреве даже до температуры 200–300 °С приводит к тому, что зона пластических деформаций в сварных соединениях конструкций из алюминиевых сплавов при прочих равных условиях значительно шире, чем в стальных. Поэтому деформации алюминиевых сварных соединений больше, чем стальных.

При сварке плоских толстостенных деталей из алюминиевых сплавов наиболее характерными деформациями, во многом определяющими пригодность сварной детали к дальнейшему использованию, являются угловая деформация и поперечная усадка.

Учитывая тот факт, что в толстостенных изделиях сварочные деформации могут быть устранены только механической обработкой, а также с целью обеспечения точности сварной конструкции, припуск на механическую обработку задается, исходя из величины ожидаемых деформаций от сварки. Так как чистовая толщина металла составляет 70 мм, то с учетом припуска (10 мм на сторону) на механическую обработку, толщина металла увеличена до 90 мм.

Сварку контрольных сварных соединений выполняли с применением оборудования фирмы Lorch серии S Speed Pulse, используя импульсно-дуговой процесс сварки на следующих режимах: скорость подачи проволоки $V_{\text{под}} = 11$ м/мин, $I_{\text{св}} = 160\text{--}180$ А, $U_{\text{д}} = 24\text{--}26$ В, расход газа 14–18 л/мин. Сварочные материалы: проволока марки DE 58/S Al 5356 по ISO 18273 диаметром 1,2 мм, поставляемая в вакуумной упаковке. В качестве защитного газа использовали аргон высшего сорта. Продувка защитного газа составляет 3 с, задержка отключения газа – 5 с. В начале и в конце шва применяли выводные планки, имеющие аналогичную основному шву форму разделки. Перед сваркой кромки зачищали от оксидов механическим (щетка с щетиной из нержавеющей стали) и химическим (растворитель марки Б1) способами.

Сварку выполняли углом вперед ($10\text{--}15^\circ$ к вертикали) на проход, ниточными швами. Перед наложением каждого валика предыдущий зачищали щеткой. Для устранения неравномерности поперечной усадки по длине шва после наложения двух-трех валиков изменяли направление сварки. Температура сопутствующего подогрева 150°C .

Во избежание образования дефектов, характерных для начала и окончания шва, применялись специальные технологические планки. Планки для начала и окончания шва приваривались к собранным под сварку деталям механизированной сваркой и имели ту же разделку, что и свариваемые детали. Зазор между планкой и деталью не превышал 0,5 мм. Для предотвращения прожога и вытекания сварочной ванны использовалась подкладка из нержавеющей стали, плотно прилегала к стыку по всей его длине. Зазор между подкладкой и стыком при сварке со сквозным проплавлением не превышал 0,5 мм.

Внешний вид контрольного сварного соединения показан на рис. 2, а.

После сварки образец обрабатывался механическим способом по двум плоскостям.

Контроль качества стыкового соединения с полным проплавлением выполнялся в соответствии с таблицей 3 согласно требованиям стандарта ISO 15614-2.

Таблица 3

Контроль качества стыкового соединения с полным проплавлением

Вид контроля/испытания	Объем контроля	Стандарт
Визуальный контроль (VT)	100 %	ISO 17637:2003
Капиллярный контроль (PT)	100 %	ISO 3452-1:2013
Ультразвуковой контроль (UT)	100 %	ISO 17640:2010
Испытание на статическое растяжение	2 образца	ISO 4136:2012
Испытание на статический изгиб	4 образца	ISO 5173:2009
Макроскопическое исследование	1 образец	ISO 17639:2003

На рис. 2, б приведен образец при капиллярном контроле. Ультразвуковой контроль образца показал отсутствие внутренних дефектов, превышающих допустимые нормы.



а



б

Рис. 2. Контрольное сварное соединение: после сварки (а) и при контроле (б)

После получения удовлетворительных результатов неразрушающего контроля из контрольного сварного соединения вырезались образцы для испытаний согласно табл. 3.

Результат макроскопического анализа сварного соединений (рис. 3) показал отсутствие дефектов.



Рис. 3. Макроскопический анализ сварного соединения

При испытании на статический изгиб все образцы выдержали угол загиба 180° , при этом на образцах не обнаружено дефектов размером более 3 мм, что соответствует требованиям стандарта ISO 15614-2.

После испытания на статическое растяжение определяли коэффициент прочности швов K . При определении коэффициента K прочность соединений относили к прочности основного металла. Механические свойства сварного соединения испытывали на стандартных образцах. Во всех случаях образцы при испытании на разрыв разрушались по металлу шва. Коэффициент прочности шва составлял в среднем 1,09 (табл. 4).

Таблица 4

Значение коэффициента прочности шва K

№ образца для испытания	σ_B , МПа	K
1...8	274...309	1,01...1,14

Полученные результаты механических испытаний позволяют сделать вывод, что прочность контрольного сварного соединения незначительно выше прочности основного металла, т.е. обеспечивается равнопрочность металла шва основному металлу.

На основании полученных результатов контроля качества контрольного сварного соединения аттестована технология сварки, которая в последующем применялась для сварки металлоконструкции «Шайба».

Сборка и сварка металлоконструкции «Шайба» выполнялась в следующей последовательности. Сборка выполнялась на стендовых плитах при помощи мерных подставок, путем закрепления при помощи шпанажей для снижения поводов в районе швов, а также придавливались грузами. Для предотвращения тепловых потерь детали укрывались асбестовым полотном. Швы варилась диаметрально противоположно на треть глубины разделки (рис. 4), после кантовки, удаляли корень шва, с последующим капиллярным контролем полноты удаления корня шва. После окончания сварки деталь на разметочной плите контролировалась на величину поводов и подвергалась механической обработке с последующим неразрушающим контролем (РТ, УТ). Поводки металлоконструкции «Шайба» находились в пределах 5...6 мм.

Уровень деформаций, полученный при сварке металлоконструкций «Шайба», позволяет в дальнейшем при сварке подобных конструкций уменьшить величину припуска на механическую обработку, что позволит снизить трудоемкость обработки, уменьшить толщину металла, а значит, снизить себестоимость.



Рис. 4. Заполнение разделки при сварке металлоконструкции «Шайба»

Для сварки толстолистовых деталей из алюминиевого сплава АМг5 предложен способ механизированной сварки в среде защитных газов и аттестована технология при сварке контрольного сварного соединения. Контроль качества контрольного сварного соединения показал соответствие качества сварного шва предъявляемым требованиям. Согласно аттестованной технологии изготовлены две сварные металлоконструкции «Шайба» (рис. 5).



Рис. 5. Сварная металлоконструкция «Шайба»

ВЫВОДЫ

Аттестована технология механизированной сварки алюминиево-магниевого сплава АМг5 большой толщины с использованием современных программно-управляемых инверторных источников питания может успешно применяться для изготовления ответственных сварных конструкций.

Уровень деформаций, полученный при сварке металлоконструкций «Шайба», позволяет в дальнейшем при сварке подобных конструкций уменьшить величину припуска на механическую обработку, что позволит снизить трудоемкость обработки, уменьшить толщину металла, а значит снизить себестоимость.

ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Свариваемые алюминиевые сплавы / Г. А. Николаев, И. Н. Фридляндер, Ю. П. Арбузов. – М.: Металлургия, 1990 – 296 с.
2. Газоэлектрическая сварка алюминиевых сплавов / С.Н. Киселев, В.А. Хаванов, В.В. Роцин [и др.]. – М.: Машиностроение, 1972 – 176 с.
3. ISO 15614-2 «Технические требования и аттестация процедуры сварки металлических материалов. Проверка процедуры сварки. Часть 2. Дуговая сварка алюминия и алюминиевых сплавов».

Статья поступила в редакцию 14.05.2016 г.