

МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ

Р. С. КАРАМЯН, Н. М. ВОРОПАЙ, Д. М. РАВКИН

К ВОПРОСУ СВАРКИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ
В КОНТРОЛИРУЕМОЙ АТМОСФЕРЕ ПОВЫШЕННОГО
ДАВЛЕНИЯ

В Институте электросварки им. Е. О. Патона АН УССР разработан способ аргоно-дуговой сварки алюминиевых сплавов. Сварка по этому способу производится в контролируемой атмосфере аргона повышенного давления на установке, описанной в [1]. Для определения

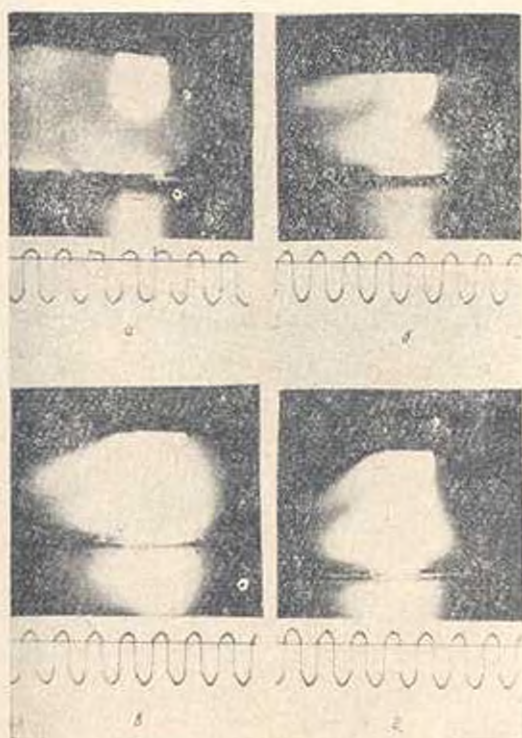


Рис. 1. Фотограммы дуги $W-A$ и осциллограммы напряжения при давлениях аргона, атм: а — 0.1; б — 0.5, в — 0.75; г — 1.0.

электрических параметров, размеров и формы дуги, горящей между вольфрамовым электродом и алюминием синхронно с осциллографированием производилась ее фотосъемка (рис. 1 и 2). Момент съемки фиксировался на осциллограмме импульсом тока. Фотографирование

дуги обнаружило уменьшение диаметра и увеличения яркости столба дуги при повышении давления аргона. При этом столб дуги имеет более резкое очертание и приобретает форму усеченного конуса с заметным сужением на конце вольфрамового электрода. При обработке осциллограмм средние значения напряжения определялись в тех участках кривых, которые соответствовали моменту съемки. Типичным для представленных на рис. 1 и 2 кривых напряжения дуги является рост напряжения при увеличении давления аргона и сохранение почти полного подобия осциллограмм в разных периодах. Осциллографирование напряжения дуги и расчеты ее эффективной мощности показали, что U_{eff} и Q_{eff} с увеличением давления газа растут по прямолинейному закону. Выявлено, что с увеличением давления контролируемой атмосферы глубина проплавления металла резко растет.

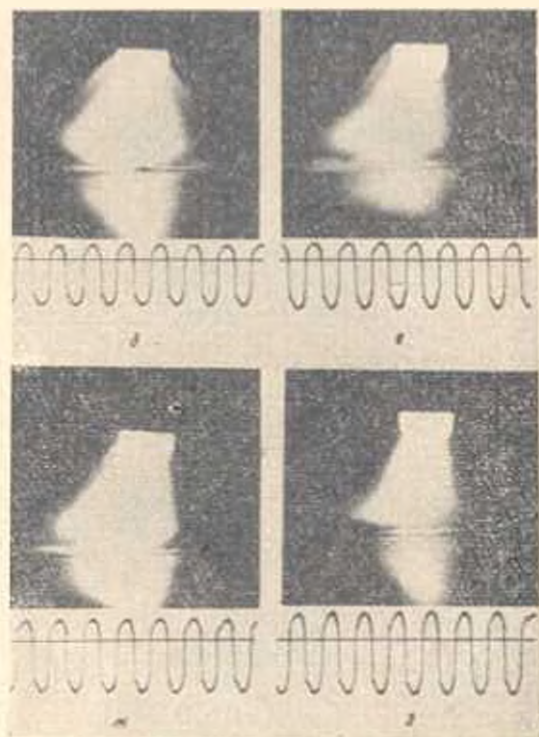


Рис. 2. Фотограмма дуги W—N и осциллограммы напряжения при давлении аргона, *мм*: *d* — 2,0; *e* — 3,0; *ж* — 5,0; *л* — 6,0.

Увеличение глубины проплавления — результат увеличения скорости и концентрации частиц плазменной струи, представляющей собой поток разогретого, возбужденного или ионизированного газа, направленного вдоль оси дуги. Плазменные потоки, образующиеся в атмосфере аргона повышенного давления, оказывают силовое воздействие на электроды, которое проявляется в проплавлении металла на большую глубину, вытеснении расплавленного металла из-под дуги и образо-

вании усиления сварного шва. Концентрация частиц плазменной струи пропорциональна плотности тока, которая при повышении давления аргона возрастает вследствие уменьшения площади активных пятен.

Повышение проплавляющей способности дуги в условиях повышенного давления позволяет уменьшить электрическую мощность дуги по сравнению со сваркой металла одной и той же толщины в условиях атмосферного давления. В качестве примера в табл. 1 приведены оптимальные режимы сварки сплава АМг 6 толщиной 6 мм со скоростью 15 м/час в зависимости от давления аргона.

Таблица 1

Параметры	Д а в л е н и е, а т м					
	1	2	3	4	5	6
I в, а	280	255	235	210	185	165
U в, в	14—15	14—15	15—16	15—16	15—16	15—16
Q ккал/сек	535	490	425	380	355	280

Для определения влияния давления аргона на процессы распространения тепла в соответствии с режимами табл. 1 производилась однопроводная автоматическая сварка пластин из алюминийно-магниевого сплава АМг 6 толщиной 6 мм. В различных удаленных от оси стыка точках в процессе сварки и последующего охлаждения с помощью термопар и осциллографа Н-700 записывались термические циклы по методике [2]. Термопары медь — константан диаметром 0,4 мм устанавливались в отверстия диаметром 1,2 мм глубиной, равной половине толщины пластины. Во избежание влияния краевого эффекта измерение температур выполнялось в средней части длины пластины. С целью исключения случайных ошибок для каждого способа сварки производилось по несколько опытов, средние данные из которых подвергались обработке. Опыты показали, что с увеличением давления аргона уменьшаются максимальные температуры, до которых нагревается металл в данной точке, уменьшается время пребывания металла околошовной зоны при высокой температуре и увеличивается скорость его охлаждения после сварки. Это оказывает благоприятное влияние на структуру и свойства металла шва и околошовной зоны, особенно при сварке высокопрочных термически упрочненных алюминиевых сплавов системы $Al-Zn-Mg$.

При увеличении давления аргона в камере увеличивается плотность сварных швов как на алюминии А5, так и на сплаве АМг6. Известно, что основной причиной возникновения пор в металле сварных швов алюминия и его сплавов является выделение пузырьков водорода вследствие падения растворимости последнего при снижении температуры жидкого металла и крайне низкой растворимости водо-

рода в твердом металле. При переходе алюминия из жидкого состояния в твердое растворимость водорода уменьшается в 15—20 раз. В зону сварки водород попадает из влаги, содержащейся в защитном газе (аргоне). Влага находится также в связанном или адсорбированном виде в окисной пленке, всегда имеющейся на поверхности свариваемого металла и присадочной проволоки. При повышенном содержании водорода в основном металле в обычных условиях сварочная ванна может обогащаться водородом за счет термодиффузии. Следует отметить, что в условиях сварки при повышенных давлениях, где имеют место большие скорости охлаждения металла, возможность перехода водорода из твердого металла в жидкую ванну маловероятна, так как время диффузии водорода при высоких температурах ограничено.

Условием возникновения пузырьков радиусом r , вызванных выделением водорода из жидкого алюминия с поверхностным натяжением σ и плотностью γ на глубине h при внешнем давлении газовой среды $P_{\text{вн}}$, является

$$P_{\text{вн}} \geq P_{\text{вн}} + h\gamma + \frac{2\sigma}{r},$$

где $P_{\text{вн}}$ — давление водорода в пузырьке.

Из неравенства следует, что с увеличением внешнего давления контролируемой атмосферы выше атмосферного вероятность возникновения пузырьков водорода уменьшается. Можно предположить, что при некотором значении $P_{\text{вн}}$ и определенном содержании водорода в сварочной ванне давление водорода в пузырьке $P_{\text{вн}}$ будет меньше суммы правой части неравенства. В этом случае появление газовых пор невозможно.

При сварке сплава АМгб с увеличением давления аргона до 3 *атм* пористость снижается. При давлении аргона свыше 3 *атм* поры практически отсутствуют. По рентгеновским снимкам подсчитывалось количество пор, приходящихся на 100 мм шва. При изучении микрошлифов определяли количество пор в рассматриваемом сечении, а подсчет производился из условия приведения площади поперечного сечения всех пор к условному диаметру поры 1 мм.

Изучение микроструктуры швов сплава АМгб, выполненных при различных давлениях аргона, обнаружило, что при $P_{\text{вн}} < 1$ *атм* поры имеют, как правило, правильную сферическую форму, т. е. они возникают и развиваются в жидком металле. При $P_{\text{вн}} \geq 1$ *атм* имеют место микропоры угловатой формы, возникшие в жидком металле и развивающиеся до завершающей стадии кристаллизации металла.

Как показали исследования, с увеличением давления аргона содержание легкоиспаряющихся легирующих элементов в сварных швах растет и при 3—5 *атм* приближается к их содержанию в основном металле. Это объясняется уменьшением скорости испарения элементов со сварочной ванны и увеличением температуры кипения

сплавов. Произведем расчеты упругости паров цинка и магния соответственно в сплавах алюминий-цинк и алюминий-магний и определим температуры кипения этих сплавов в зависимости от концентрации и давления внешней атмосферы.

При кипении расплава $Al-Zn$ сумма парциальных давлений паров цинка и алюминия над сварочной ванной при внешнем давлении аргона $P_{\text{арг}}$ будет равна единице

$$P_{Zn} + P_{Al} = 1.$$

Представив P_{Zn} и P_{Al} соответственно через произведение парциального давления элемента в чистом виде P_{Zn} и P_{Al} на его концентрацию в расплаве (C_{Zn} , C_{Al}), получим

$$P_{Zn} \cdot C_{Zn} + P_{Al} \cdot C_{Al} = 1.$$

откуда

$$C_{Zn} = \frac{1 - P_{Al}}{P_{Zn} - P_{Al}}.$$

Исходя из этого выражения, определяем температуру кипения сплавов алюминия с цинком и упругость паров цинка над сварочной ванной в условиях атмосферного давления ($p = 1 \text{ атм}$). Результаты расчетов для системы алюминий-цинк представлены в табл. 2, а для

Таблица 2

T, K	$P_{Al}, \text{атм}$	$P_{Zn}, \text{атм}$	$1 - P_{Al}$	$P_{Zn} - P_{Al}$	$C_{Zn}, \%$	$P_{Zn}, \text{атм}$
1150	$1,3 \cdot 10^{-7}$	1,0	1,0	1,0	100	1
1300	$1,3 \cdot 10^{-6}$	2,7	1,0	2,7	37	1
1500	$4,9 \cdot 10^{-5}$	11,2	1,0	11,2	8,9	1
1700	$7,7 \cdot 10^{-4}$	32	1,0	32,0	3,1	1
2000	$1,68 \cdot 10^{-2}$	112	0,98	112,0	0,8	1
2400	$2,85 \cdot 10^{-1}$	250	0,71	249,7	0,285	0,71
2500	0,53	600	0,47	599,5	0,078	0,47
2620	1	800	0	799	—	—

системы алюминий-магний — в табл. 3. Значения P_{Al} и P_{Zn} в этих таблицах взяты согласно [3]. Упругость паров магния в диапазоне температур 1300–2700 К получены экстраполяцией данных А. И. Несмеянова [3], приведенных для температур до 1300 К.

Данные таблиц 2 и 3 показывают, что при содержании цинка или магния в алюминии свыше 1% пары над расплавленным алюминием состоят практически только из цинка или магния соответственно. Даже небольшая концентрация последних (1–2%) резко снижает температуру кипения алюминиевых сплавов.

При увеличении давления внешней атмосферы температуры кипения сплавов алюминий-цинк и алюминий-магний повышаются. Особенно резко это повышение проявляется при давлениях до 3–5 атм.

Таблица 3

$T, ^\circ\text{K}$	$P_{\text{Mg}}, \text{атм.}$	$P_{\text{Mg}}, \text{атм.}$	$1 - P_{\text{Al}}$	$P_{\text{Mg}} - P_{\text{Al}}$	$C_{\text{Mg}}, \%$	$P_{\text{Mg}}, \text{атм.}$
1375	$1,1 \cdot 10^{-7}$	1,0	1,0	1,0	100	1,0
1500	$4,9 \cdot 10^{-5}$	4,8	1,0	4,8	21	1,0
1600	$2,1 \cdot 10^{-4}$	13,1	1,0	13,1	7,7	1,0
1700	$7,7 \cdot 10^{-4}$	63,0	1,0	63,0	1,55	1,0
2000	$1,68 \cdot 10^{-2}$	131,5	0,98	131,5	0,075	0,98
2000	$8,1 \cdot 10^{-2}$	329,0	0,92	329,0	0,003	0,92
2400	$2,85 \cdot 10^{-1}$	1189,5	0,71	1188,2	0,0006	0,71
2500	0,53	1255,5	0,47	1256,0	0,0004	0,41
2620	1,0	1315,0	0	1314,8	—	0

Экспериментально обнаружено, что в сварных швах сплава АМг6, выполняемых дуговой сваркой неплавящимся электродом при различных давлениях аргона, с увеличением давления защитной атмосферы содержание магния растёт. При давлении в две избыточные атмосферы оно приближается к нижнему пределу содержания магния в основном металле и присадочной проволоке. Разработанный способ сварки в контролируемой атмосфере повышенного давления можно рекомендовать для получения высокоплотных сварных соединений изделий небольших размеров, особенно в тех случаях, когда наряду с высокой плотностью к швам предъявляется требование постоянного химического состава.

Институт электросварки АН УССР
им. Е. О. Патона

Поступило 25.1.1968

Ուսումնասիրված է ալյումինի և Al-Mg, Al-Zn-Mg սիստեմի միահալ-

վումբերի եռքի ժամանակ կարգավորող մթնոլորտի ճնշման ազդեցությունը
աղեղի էլեկտրաֆիզիկական բնութագրերի, կարանների խտություն և էլեմենտ-

Ա. Վ. Ի. և Գ. Ի. և Գ. Ի.

Ուսումնասիրված է ալյումինի և Al-Mg, Al-Zn-Mg սիստեմի միահալ-
վումբերի եռքի ժամանակ կարգավորող մթնոլորտի ճնշման ազդեցությունը
աղեղի էլեկտրաֆիզիկական բնութագրերի, կարանների խտության և էլեմենտ-
ների զուտրշիացման վրա: Բերված են փոփոխական հոսանքի աղեղի ֆոտո-
գրամները ու լարման օսցիլոգրամները արդյունի կարգավորող մթնոլորտի
0,1—6,0 մթն. ճնշման դեպքում: Նկատվում է էֆեկտիվ հզորության և աղեղի
լարման մեծացում արդյունի ճնշումը բարձրացնելիս:

Հետադարձ է արդեն ճշման ապացույթներ ջերմության տարածման պրոցեսների վրա:

Սահմանված է, որ արգոնի ճնշումը մինչև 3,0 մթն. բարձրացնելիս կտրուկ նվազում է կարանների ծակոտկենությունը և էլեմենտների պոլորշիացումը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Рабкин Д. М., Воробей Н. М., Карамян Р. С., Сур М. Д. Установка для сварки в контролируемой атмосфере повышенного давления. Журн. "Автоматическая сварка", № 2, 1968.
2. Казимиров А. А., Воробей Н. М. Распространение тепла при сварке плавлением алюминия с медью. Журн. "Автоматическая сварка", № 7, 1966.
3. Негмоянов А. И. Плавление пара химических элементов. Изд. АН СССР, 1961.