

ПРИСАДОЧНАЯ ПРОВОЛОКА ДЛЯ СВАРКИ ПЛАВЛЕНИЕМ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

В.В. Овчинников, М.А. Гуреева, А.М. Дриц

В статье рассматриваются основные направления развития технологии изготовления присадочной проволоки для сварки плавлением алюминиевых сплавов. Представлены основные марки присадочных проволок, применяемых для сварки традиционных деформируемых алюминиевых сплавов систем легирования Al-Mn, Al-Mg, Al-Cu-Mn. Обобщены результаты цикла работ, что позволило выявить основные закономерности влияния добавки скандия на структуру и свойства присадочных проволок системы Al-Mg-Sc. Рассмотрено влияние скандия, содержащегося в присадочной проволоке, на свариваемость алюминиевых сплавов. Приведена современная технология подготовки поверхности присадочной проволоки скальпированием, которая в сочетании с зачисткой поверхности алюминиевых деталей лазерным излучением создает базис для разработки технологии подготовки детали и присадочной проволоки, минуя операции химического травления.

Ключевые слова: алюминиевые сплавы, присадочная проволока, химический состав, овальность, дефекты поверхности, сплавы системы Al-Mg-Sc, скальпирование поверхности проволоки.

FILLER WIRE FOR FUSION WELDING OF ALUMINUM ALLOYS

V.V. Ovchinnikov, M.A. Gureyeva, A.M. Drits

This article is dedicated to the main directions of technology development for making wire for fusion welding of aluminum alloys. There are presented the main brand subsidiary wires used for welding of traditional wrought aluminium alloys of Al-Mn, Al-Mg, Al-Cu-Mn alloying systems. The outcomes of the work cycle, allowing to identify the main regularities of influence of additives on the structure and properties of scandium auxiliary system wires Al-Mg-Sc. The influence of scandium, contained in the filler wire on weldability of aluminum alloys. The modern technology of surface preparation wire by scalping, which combined with the mopping up of the surface of the aluminum parts for laser radiation, creates a basis for the elaboration of details and preparation technology wire bypassing the operation of chemical etching.

Keywords: aluminum alloys, filler wire chemical composition, roundness, surface defects, system alloys Al-Mg-Sc, scalping wire surface.

Введение

Все расходные материалы, применяемые при сварке, можно разделить на две большие группы:

1) материалы, непосредственно участвующие в образовании металла сварного шва (электродные и присадочные проволоки, штучные электроды, флюсы и т.п.) [1–7];

2) материалы, непосредственно не участвующие в образовании металла сварного шва, но влияющие на его качество (неплавящиеся электроды, инертные защитные газы).

Применение расходных материалов зависит от марки и свойств свариваемого сплава, его толщины, используемого вида сварки, режимов сварки и др. [8–14].

Цель работы заключается в анализе современного уровня развития технологии производства присадочной проволоки для сварки алюминиевых сплавов и формулирования рекомендаций по использованию новых марок присадочных проволок для сварки алюминиевых сплавов различных химических составов.

Требования, предъявляемые к сварочным материалам

Сварочные проволоки применяют в качестве плавящегося электрода при автоматической и полуавтоматической сварке по слою флюса и в среде защитных газов, а также при электрошлаковой сварке. Из сварочной проволоки из-

готовавливают покрытые электроды для ручной дуговой сварки. При газовой и дуговой сварке неплавящимся электродом проволока используется в качестве присадочного металла [9–12].

Ко всем сварочным материалам предъявляются требования, определяющие их технологичность, экологичность, необходимые свойства сварных соединений при различных условиях эксплуатации. Они должны отвечать требованиям ГОСТ или технических условий (ТУ), по которым они изготавливаются, а также должны иметь сертификат завода-изготовителя [1, 8].

К форме поперечного сечения предъявляется требование – овальность проволоки не должна превышать половины предельного отклонения по диаметру. При этом проволока должна иметь чистую поверхность, без плен, трещин, закатов, вмятин, заусенцев, расслоений и резких перегибов. При этом допускается наличие на поверхности проволоки местных дефектов в виде темных и светлых пятен, которые при местной зачистке не выводят проволоку за предельные отклонения по диаметру [1, 6].

Проволоку диаметром менее 5 мм для намотки на катушки подвергают механической очистке методом скальпирования на глубину не менее 0,015 мм с последующим удалением технологической смазки моющим раствором в ультразвуковой ванне. Проволоку, изготовленную методом скальпирования, последующей химической обработке не подвергают. После очистки и при последующей намотке проволока должна иметь блестящую поверхность с параметрами шероховатости Ra не более 0,63 по ГОСТ 2789.

При изготовлении и поставке проволоки на катушках намотка обработанной проволоки осуществляется механическим способом плотными рядами без перегибов и задиров. При этом обязательным является соблюдение следующих условий: концы проволоки должны выходить

на боковую поверхность и легко обнаруживаться; внешний намотанный слой проволоки не должен выходить за геометрические размеры катушки.

Масса проволоки не должна превышать следующие значения:

($2 \pm 0,05$) кг – на катушках диаметром 200 мм;

($6 \pm 0,05$) кг – на катушках диаметром 300 мм;

($9,5 \pm 0,3$) кг – на катушках диаметром 415 мм.

Проволоку без химической и механической обработки поверхности, изготавливаемую методом волочения с применением специальной смазки с ингибиторными свойствами, наматывают на бухты правильными, не перепутанными рядами без местных перегибов. Внутренний диаметр бухты должен быть в диапазоне 180–400 мм при наружном диаметре не более 750 мм. При этом высота бухты не должна превышать 250 мм при массе не более 30 кг.

Выбор сварочной проволоки в зависимости от сплава конструкции

Механические свойства сварочной проволоки, металла шва и стыкового сварного соединения в целом для ряда свариваемых алюминиевых сплавов регламентируются. Временное сопротивление разрыву проволоки должно быть не менее 100 МПа.

Марки сварочной проволоки для сварки алюминия и его сплавов приведены в табл. 1.

Содержание водорода в проволоке марки СВАМг6 не должно превышать $0,4 \text{ см}^3$ на 100 г металла, а для проволоки Св1201 – $0,2 \text{ см}^3$ на 100 г металла.

Помимо присадочных проволок, указанных в табл. 1, для сварки сплавов системы Al–Mg–Sc изготавливаются присадочные проволоки, состав которых представлен в табл. 2 [15–18].

Содержание водорода в проволоках, указанных в табл. 2, не должно превышать $0,4 \text{ см}^3$ на 100 г металла.

Таблица 1

Химический состав проволок для сварки алюминия и его сплавов (ГОСТ 7871–75 и ТУ 1-809-1018-2007), масс. %

Марка	Al	Легирующие элементы							Другие элементы, не более
		Mg	Mn	Fe	Si	Ti	Be	Zr	
СВА97	$\geq 99,97$	–	–	–	–	–	–	–	0,03
СВА85Т	Ост.	–	–	–	–	0,2–0,5	–	–	0,08
СВА5	$\geq 99,5$	–	–	0,2–0,35	0,1–0,25	–	–	–	0,05
СВАМц	Ост.	–	1–1,5	0,3–0,5	0,2–0,4	–	–	–	1,35

Окончание таблицы 1

Марка	Al	Легирующие элементы							Другие элементы, не более
		Mg	Mn	Fe	Si	Ti	Be	Zr	
СВАМг3	Ост.	3,2–3,8	0,3–0,6	–	0,5–0,8	–	0,002–0,005	–	0,85
СВАМг4	Ост.	4–4,8	0,5–0,8	–	Cr 0,05–0,25	0,05–0,15	0,002–0,005	–	1,15
СВАМг5	Ост.	4,8–5,8	0,5–0,8	–	–	0,1–0,2	0,002–0,005	–	1,4
СВ1557	Ост.	4,5–5,5	0,2–0,6	Cr 0,07–0,15	–	–	0,002–0,005	0,2–0,36	0,6
СВАМг6	Ост.	5,8–6,3	0,5–0,8	–	–	0,1–0,2	0,002–0,005	–	1,2
СВАМг63	Ост.	5,8–6,8	0,5–0,8	–	–	–	0,002–0,005	0,15–0,35	1,15
СВАМг61	Ост.	5,5–6,5	0,8–1,1	–	–	–	0,0001–0,0003	0,002–0,12	1,15
СВАК5	Ост.	–	–	–	4,5–6,0	0,1–0,2	–	–	1,0
СВАК10	Ост.	–	–	–	7–10	–	–	–	1,1
СВ1201	Ост.	Cu 0,6–0,8	0,2–0,4	V 0,05–0,15	–	0,1–0,2	0,0001–0,0008	0,1–0,25	0,3
СВ1207	Ост.	Cu 6,0–6,8	0,1–0,3	менее 0,15	менее 0,05	0,05–0,15	–	0,08–0,15	Sc 0,2–0,45
СВ1217	Ост.	Cu 10,0–11,5	0,15–0,4	менее 0,2	менее 0,15	0,1–0,25	–	0,10–0,25	Sc 0,10–0,20
СВ1597	Ост.	5,5–6,5	0,5–0,8	Менее 0,15	Менее 0,10	0,01–0,05	–	0,10–0,25	Sc 0,36–0,50
СВ1577пч	Ост.	5,5–6,5	0,5–0,8	–	–	Cr 0,1–0,2	–	0,15–0,25	0,15

Таблица 2

Химический состав присадочных проволок для сварки сплавов системы Al–Mg–Sc [15–18]

Марка проволоки	Массовая доля элементов, %									
	Al	Mg	Mn	Zr	Ti	Be	Sc	Ce	Zn	Примеси, сумма
01570	Осн.	5,3–6,3	0,2–0,6	0,05–0,15	0,01–0,05	0,0002–0,0050	0,17–0,27	–	–	0,1
01523	Осн.	1,8–2,4	–	0,10–0,20	–	–	0,20–0,40	0,0001–0,0050	–	0,1
01515	Осн.	0,9–1,4	–	0,05–0,15	0,01–0,05	–	0,20–0,40	0,0001–0,0050	–	0,1
1570С	Осн.	5,0–5,6	0,2–0,5	0,05–0,12	0,01–0,03	0,0002–0,0050	0,18–0,26	0,0002–0,0009	–	0,1
1545К	Осн.	4,1–4,9	0,19–0,35	0,05–0,12	0,01–0,04	0,0002–0,0050	0,17–0,27	0,0001–0,0009	–	0,15
1597	Осн.	5,5–6,5	0,5–0,8	0,05–0,25	0,01–0,05	0,0001–0,0050	0,36–0,50	–	0,1	0,1

Проволоки, легированные скандием, более дорогие по стоимости по сравнению с традиционными присадочными проволоками. Однако их применение для сварки традиционных алюминиевых сплавов позволяет повысить уровень механических свойств сварных соединений, а использование указанных проволок для подварки дефектных участков швов дает возможность подавить повторное образование трещин на ремонтируемом участке шва [1].

Наряду с отечественными марками присадочных проволок для сварки плавлением конструкций из алюминиевых сплавов, применяются присадочные проволоки иностранного производства (табл. 3).

Присадочная проволока, предназначенная для выполнения сварных соединений, к которым предъявляются требования по стойкости к межкристаллитной коррозии, перед использованием должна подвергаться испытаниям на от-

сутствие склонности к межкристаллитной коррозии на контрольных образцах, в соответствии с ГОСТ 9.021.

К присадочным проволокам предъявляются сварочно-технологические требования, в частности высокая стабильность горения дуги, низкий коэффициент разбрызгивания и качественное формирование шва.

Присадочные проволоки должны обеспечивать механические свойства сварных соединений, согласно требованиям в табл. 4.

Для ряда национальных и международных сплавов, применяемых в судостроительной промышленности, механические свойства сварных соединений должны быть не ниже указанных в табл. 5.

Для сварки наиболее распространенных алюминиевых сплавов рекомендуется использовать следующие сварочные проволоки (табл. 6).

Таблица 3

**Химический состав присадочных проволок, применяемых в России
для сварки алюминиевых сплавов иностранного производства**

Марка проволоки	Массовая доля элемента, %											
	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Cr	Zn	Ti	Mg	Be	Zr	Прочие примеси
4043	Ост.	4,7–5,3	0,30	0,30	0,05	0,05	0,05	0,03	0,04	0,0002	–	0,05
5087	Ост.	0,1	0,30	0,05	0,70– 1,0	0,05– 0,25	0,25	0,15	4,5–5,2	0,0003	0,10– 0,20	0,05
5183	Ост.	0,1	0,30	0,05	0,60– 1,0	0,06– 0,14	0,10	0,06– 0,10	4,7–5,10	0,0003	–	0,05
5356	Ост.	0,1	0,30	0,05	0,10– 0,15	0,10– 0,15	0,09	0,08– 0,13	4,55–5,0	0,0003	–	0,05
5556	Ост.	0,1	0,30	0,05	0,55– 0,80	0,05– 0,10	0,09	0,06– 0,10	4,70–5,5	0,0003	–	0,05

Таблица 4

**Требования к механическим свойствам сварных соединений
термически неупрочняемых алюминиевых сплавов**

Марка свариваемого материала	Угол изгиба, град., не менее	Ударная вязкость, Дж/см ² , при температуре испытания		Предел прочности сварного соединения для всех видов дуговой сварки плавлением
		от –70 до 0 °С	от 0 до 150 °С	
A99, A85, A8, A7, АД0, АД1, АМц, АМцС	120	Не регламентирована		Не менее нижнего значения предела прочности основного металла в отожженном состоянии
АМг3	50			
АМг5	45	38	39	
АМг6	45	28	32	

Таблица 5

Требования к механическим свойствам сварных соединений алюминиевых сплавов, используемых в судостроительной промышленности

Цифровой код основного металла для испытаний	Временное сопротивление разрыву σ_B , МПа	Испытания на статический изгиб	
		Диаметр оправки D , мм	Угол изгиба, град.
Международные сплавы			
5754	190	3t*	180
5086	240	6t	
5083	275	6t	
5383 или 5456	290	6t	
5059	330	6t	
6061, 6005A или 6082	170	6t	
Национальные сплавы			
1530	185	6t	180
1550	275	6t	
1561	305	6t	
1575	360	6t	
<i>AlSiMgMn</i>	170	6t	

* t – толщина образца при испытаниях.

Таблица 6

Проволоки для сварки алюминия и его сплавов

Марка свариваемого алюминиевого сплава	Марки присадочных проволок
АД0, АД1	Св85Т, Св97
АМц	СвАМц
АМг2, АМг3	СвАМг3
АМг6	СвАМг6
1565ч	СвАМг61
АД31, АД33, АВ	СвАК5, Св1557
1915	Св1557
Ал2, Ал4, Ал9	СвАК5
1201	Св1201
В-1341	СвАМг63, Св1557
1420, В-1424	СвАМг63
1460, В-1461, В-1469	Св1201, Св1217

В современных сварных конструкциях нередко применяются различные по составу алюминиевые сплавы. Полученный при сварке двух различных сплавов состав металла шва, как правило, обладает повышенной склонностью к образованию горячих трещин. В связи с этим для сварки разноименных алюминиевых сплавов выбирают проволоки, состав которых обеспечивает сварным соединениям, прежде всего, повышенную стойкость против образования горячих трещин (табл. 7).

Применение присадочных проволок различного химического состава позволяет достаточно

существенно влиять на механические свойства сварных соединений (табл. 8) [19, 20].

Традиционная технология подготовки проволоки под сварку включает в себя следующие операции: разматывание требуемого количества проволоки из бухты с учетом сменного задания, обезжиривание проволоки в водном растворе тринарийфосфата для удаления смазки, травление для удаления оксидной пленки. Срок хранения сварочной проволоки после химического травления перед сваркой не должен превышать 8 ч. При нарушении срока хранения сварочной проволоки допускается повторное травление не более двух раз.

Таблица 7

**Выбор марки присадочной проволоки для сварки разноименных
отечественных алюминиевых сплавов**

Свариваемый металл	Марки проволоки для сварки со сплавами										
	1201	1915	АД33	АД31	АВ	АМг6	АМг5	АМг3	АМц	АД0	АД00
А99	СВАК5	СВАК5	СВАК5	СВАК5	СВАК5	СВАМг6	СВАМг5	СВАМг5	СВАМц	СВА5	СВА85Т
АД00	СВАК5	СВАК5	СВАК5	СВАК5	СВАК5	СВАМг6	СВАМг5	СВАМг5	СВАМц	СВА5	
АД0	СВАК5	СВАК5	СВАК5	СВАК5	СВАК5	СВАМг6	СВАМг5	СВАМг5	СВАМц		
АМц	СВ1201	СВАМг5	СВАК5	СВАК5	СВАК5	СВАМг6	СВАМг5	СВАМг5			
АМг3	СВАК5	СВАМг5	СВАМг5	СВАМг5	СВАМг5	СВАМг6	СВАМг5				
АМг5	СВАК5	СВАМг5	СВАМг6	СВАМг6	СВАМг6	СВАМг6					
АМг6	СВАК5	СВАМг6	СВАМг5	СВАМг6	СВАМг6						
АВ	СВАК5	СВАМг6	СВАК5	СВАК5							
АД31	СВАК5	СВАМг6	СВАК5								
АД33	СВАК5	СВАМг6									
1915	СВАК5										

Таблица 8

Механические свойства сварных соединений алюминиевых сплавов

Сплав	Присадочная проволока	Предел прочности сварного соединения, σ_b , МПа	Угол изгиба сварного соединения, α , град.
1460	СВ1217	285	25
	СВ1201	280	27
	АК5	210	13
1565чМ	СВАМг5	340	180
	СВАМг61	352	180
	СВАМг63	355	180
	ML 5183	318	180

В случае, если к сварным соединениям алюминиевых сплавов предъявляются требования по стойкости к межкристаллитной коррозии,

то выбор марки присадочной проволоки целесообразно проводить в соответствии с данными табл. 9.

Таблица 9

**Рекомендуемые марки присадочной алюминиевой проволоки для сварки соединений
с повышенной стойкостью к межкристаллитной коррозии**

Марка проволоки при сварке в защитных газах (аргон, гелий, аргоногелиевая смесь)	Марки и сочетания алюминиевых сплавов
СВА97, СВА5	АД1 (1013)
СВАМг3	АМг2 (1520), АМг3 (1530)
СВАМц	АМц (1400)
СВАМг5	АМг4 (1540), АМг5 (1550)
СВАМг6	АМг5 (1550), АМг6 (1560) АМг5 + АМг6, (А85, А99, А7, АД1, А8, АД0 (1011) + АМг3

Марка проволоки при сварке в защитных газах (аргон, гелий, аргоногелиевая смесь)	Марки и сочетания алюминиевых сплавов
	(А99, А7, АД1, А85, АД0 (1011) + АМг5 (А99, А7, АД1, А85, АД0 (1011) + АМг6 (АМц (1400), АМцС (1401) + АМг3 (АМц (1400), АМцС (1401) + АМг5 (АМц (1400), АМцС (1401) + АМг6 (АМг3, АМг5, АМг6) + АМг2 (1520) (АМг5, АМг6) + АМг3 В95 (1950) 1915, 1925
СвАМг61	АМг5, АМг6, АМг61 (1561) (АМг61, АМг5) + АМг6 АМг2 + АМг61 АМц + АМг6 АД31 + АМг5 АД31 + АМг6
СвАК5	АД31 (1310), АД33 (1330), АД35 (1350), АВ (1340) АК6 (1360), АК8 (1380), АК4 (1140) АК4-1 (1141)

Внедрение высокотехнологических процессов в производство

Для всех современных отраслей промышленного производства необходимо развитие высокотехнологических процессов, которое невозможно без внедрения современных методов сварки. Эти процессы позволяют сократить трудоемкость сварочных работ, энергозатраты, исключить необходимость использования экологически вредного химического травления на предприятиях.

Развитие сварочных технологий сегодня предполагает обязательное использование автоматов и полуавтоматов, что гарантирует принципиально новое качество сварки и исключает дефекты, связанные с человеческим фактором.

Традиционная технология подготовки проволоки под сварку включает в себя: разматывание требуемого количества проволоки из бухты из расчета на 1 день работы, обезжиривание растворителем (щелочью) для удаления консервационной смазки, травление для удаления оксидной пленки, наматывание проволоки на катушку сварочного автомата и непосредственно сварка. Электролит, который используют для электрохимического травления (полирования), включает в себя ортофосфорную и серную кислоту. Из-за химической активности алюминия и его сплавов существует ограничение

по времени между операциями подготовки сварочной алюминиевой проволоки и сваркой: оно должно составлять не более нескольких часов (дней) при условии выполнения операций, указанных выше. Ограничение по времени зависит от уровня технологии и специализации предприятия (табл. 10).

В настоящее время наиболее прогрессивной технологией подготовки алюминиевой проволоки к сварке является технология финишной очистки (скальпирование) проволоки.

Скальпирующие волокна (фильеры) представляют собой специальный, монолитный модуль цилиндрической, округлой формы с заостренным входным краем. Внутри него сделано сквозное отверстие – волоочильный глазок, через которое проходит обрабатываемая проволока (рис. 1).

Для изменения и настройки оси скальпирования может использоваться механизм в виде небольших винтов, изменяющих положение и угол клиньев, с помощью которых производится обработка металлического прутка или проволоки. Благодаря этому достигается возможность снятия поверхностного слоя от 0,1 до 0,2 мм. Волока (фильера) скальпирующая является универсальным изделием и может использоваться абсолютно для любых типов волоочильных машин и установок шевингования.

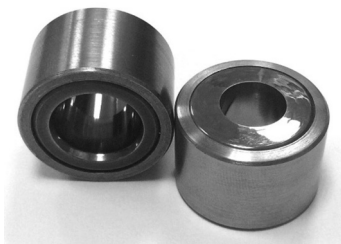
Современные технологии подготовки алюминиевой проволоки к сварке

Традиционные технологии подготовки алюминиевой проволоки к сварке	Новая технология подготовки алюминиевой проволоки к сварке
Химическая очистка проволоки: 1. Удаление консервирующей смазки; 2. Травление при температуре 60–70 °С в растворах NaOH, Na₂CO₃, Na₃PO₄•12H₂O; 3. Промывка в горячей воде; 4. Осветление в 20 % HNO₃; 5. Промывка в воде и сушка при 60–80 °С; 6. Допустимая длительность хранения после обработки не более 3 суток.	Не требует предварительной обработки перед сваркой (правка, обезжиривание, травление)
Электрохимическая обработка проволоки: 1. Обезжиривание в растворе «Лотос», промывка в воде 40–50 °С; 2. Сушка на воздухе; 3. Электрополирование в растворе H₃PO₄, H₂SO₄, Синтанол ДС-10 при 20–70 °С при силе ток 160-350 А; 4. Промывка в воде при 40–60 °С; 5. Протирка и сушка при 80–100 °С; 6. Допустимая длительность хранения после обработки 10 суток или при вакуумной упаковке – 1 год.	Не требует предварительной обработки перед сваркой (правка, обезжиривание, травление, полирование)
Трудоемкое, вредное производство	Экологически чистое производство у поставщика и потребителя
Качество поверхности не соответствует мировым стандартам, не обеспечивает рядность намотки	Чистота и качество поверхности соответствуют мировым стандартам

После этой операции проволока полностью готова к применению и не требует дополнительных затрат на подготовку к работе: правку и травление. Применяемая технология и использование вакуумной упаковки позволяют исключить из процесса подготовки к сварке присадочного материала такую трудоемкую

и неэкологичную операцию, как очистка поверхности присадочной проволоки от оксидов алюминия.

То, что развитие сварочного производства идет по этому пути, подтверждается переходом все большего числа предприятий на сварку с применением уже готовой к использованию проволоки, полированной и намотанной на кассеты установленного евростандарта (рис. 2).



а



б

Рис. 1. Скальпирующие фильеры (а) и схема процесса скальпирования (б) алюминиевой проволоки



Рис. 2. Полированная проволока после операции скальпирования, намотанная на кассеты евростандарта

Большинство предприятий судостроительной отрасли перешли на полуавтоматическую сварку. Соответственно сокращается объем потребляемой проволоки, изготовленной в бухтах и требующей предварительной обработки травлением перед сваркой.

Сравнительные механические испытания сварочной проволоки

В июле 2014 г. в лаборатории сварки на Судостроительном заводе «Северная верфь» были проведены испытания сварочно-технологических свойств алюминиевых прутков марки СвАМг61 диаметром 3,15 мм для ручной аргонодуговой сварки, предоставленных заводом «ОЗА» [1].

Сварка контрольных проб выполнялась проволокой СвАМг61 диаметром 3,15 мм ГОСТ 7871, изготовленной по традиционной заводской технологии, и проволокой той же марки производства «Опытный завод «Авиаль»». Программа испытаний включала проведение сравнительных механических испытаний свариваемых образцов, металлографический и рентгенографический анализ. Сравнивались параметры режимов сварки и сварочно-технологические свойства прутков. Программа испытаний оценивала стойкость поверхности прутков к окислению в неблагоприятных производственных условиях – в течение 3 дней нахождения на улице без защитного пенала (солнечное излучение, пыль, дождь).

По результатам опытной работы был сделан вывод о том, что присадочная проволока (прутки) производства ООО «ОЗА» обеспечивает необходимые механические свойства сварного соединения при значительно лучших сварочно-технологических свойствах по сравнению с присадочной проволокой марки СвАМг61, используемой на заводе в настоящее время.

Компания ООО «ОЗА» стала первой в России, где освоили выпуск сварочной проволоки, соответствующей всем требованиям международных стандартов. С этой целью три года назад запущено импортное оборудование, позволяющее выпускать до 20 тонн проволоки в месяц. В 2014 г. завод получил свидетельство об одобрении сварочных материалов сплавов СвАМг6, 5183 и СвАМг61 Российским морским регистром судоходства. Предприятие ООО «ОЗА» специализируется на производстве сварочной алюминиевой проволоки в соответ-

ствии с ГОСТ7871-75. Диаметры производимой проволоки от 1,0 до 8,0 мм, для которой используется широкий спектр сплавов, в том числе СвАМг5, СвАМг6, СвАМг61, 5183 и другие.

Сварочная алюминиевая проволока поставляется в зависимости от условий ее применения в трех вариантах:

- бухтах массой 25 кг;
- как присадочный материал для ручной аргонодуговой сварки неплавящимся электродом (*TIG*-сварка) в прутках длиной 1000 мм массой 5–10 кг;
- как электродная проволока для полуавтоматической и автоматической сварки (*MIG*-сварка) диаметром 1,0–3,15 мм на кассетах европейского стандарта. Намотка проволоки осуществляется с помощью высокоточного оборудования на кассеты диаметром 200, 300, 415 мм.

В соответствии с требованиями потребителей в декабре 2012 г. были разработаны Технические Условия на изготавливаемую сварочную алюминиевую проволоку и согласованы с ведущими предприятиями по материалам и методам сварки. Указанные ТУ зарегистрированы в ФБУ «Ростест-Москва» за № 200/078154.

Выпуск сварочной проволоки сдерживается дефицитом качественного сварочного алюминиевого прутка, из которого изготавливается проволока. Причем основными требованиями к качеству являются такие параметры, как однородность кристаллической структуры, величина зерна и отсутствие посторонних включений. ГОСТ7871-75 фактически регламентирует только химический состав сплава.

Требования, которые сегодня предъявляются к сварочной технике и присадочным материалам, существенно жестче. На поверхности присадочного материала не должно быть дефектов и примесей, поскольку они могут отрицательно сказаться на сварке. Нельзя использовать смазочные материалы и охлаждающие жидкости. При *MIG*-сварке присадочная проволока одновременно является электродом. Гладкость и чистота проволоки необходимы, чтобы обеспечить безопасную подачу питания к проволоке, это гарантирует качество электрической дуги и низкое трение в канале. Еще одно преимущество чистоты поверхности заключается в небольшом количестве вредных выхлопов в процессе сварки. Применяемая технология механического срезания поверхности проволоки обеспечивает ровную и абсолютно чистую

поверхность. В связи с упрочнением, имеющим место при производстве отдельных алюминиевых сплавов, в процессе изготовления проволоки применяется промежуточная термообработка. Она гарантирует оптимальные механические характеристики готового продукта.

Контроль диаметра. Допуски на диаметр алюминиевой проволоки в процессе производства жестче, чем требования ГОСТ 7871-75, это обеспечивает постоянство режимов сварки у потребителя. Небольшое изменение диаметра алюминиевой сварочной проволоки влечет значительное изменение ее поперечного сечения, соответственно изменение плотности тока и неоднородности сварочного шва. Допустимое отклонение диаметра проволоки, в соответствии с ГОСТ 7871-75, составляет 0,06 мм. При диаметре проволоки 1,2 мм допустимым является диаметр 1,14 мм, что предусматривает почти 11 % возможного отклонения поперечного сечения. Более жесткие требования технологии скальпирования поверхности проволоки обе-

спечивают постоянство сварочных параметров. Это важно при автоматизированной сварке.

Качество намотки. Постоянный диаметр и шаг намотки обеспечивают постоянство электрического контакта, параметров дуги и проплавления. Небольшие отклонения диаметра, чистоты химического состава или состояния поверхности могут вызвать серьезные проблемы изготовления алюминиевых конструкций.

ООО «ОЗА» изготавливает также проволоку для холодной высадки по ГОСТ 14838-78 диаметром от 1,2 до 8,0 мм по маркам АД1, АМЦ, АМГ5П, Д18, В65 и Д1П. Проволока поставляется в бухтах по 25 кг. Возможно изготовление проволоки с заданными механическими свойствами.

В таблицах 11 и 12 представлены рекомендуемые режимы полуавтоматической дуговой сварки плавящимся электродом в защитном газе и ручной аргонодуговой сварки неплавящимся электродом соединений алюминиевых сплавов.

Таблица 11

Рекомендуемые режимы полуавтоматической дуговой сварки алюминиевых сплавов плавящимся электродом в защитном газе

Толщина, мм	Состав газовой смеси, %		Диаметр проволоки, мм	Скорость сварки, мм/мин	Ток дуги, А	Напряжение на дуге, В	Скорость подачи проволоки, мм/мин	Расход газа, л/мин
	гелий	аргон						
1,6	30	70	1,0	450–600	70–100	17–18	4,0–6,0	14
3,0	30	70	1,2	500–700	105–120	17–20	5,0–7,0	14
6,0	30	70	1,2	450–600	120–140	20–24	6,5–8,5	14
6,0	50	50	1,2	550–800	160–200	27–30	8,0–10,0	14
10,0	50	50	1,2	450–600	120–140	20–24	6,5–8,5	16
10,0	50	50	1,6	500–700	240–300	29–32	7,0–9,0	16
Свыше 10,0	50	50	1,2–1,6	400–500	130–200	20–26	6,5–8,0	18
Свыше 10,0	70	30	1,6–2,4	450–700	300–500	32–40	9,0–14,0	18

Таблица 12

Рекомендуемые режимы ручной аргонодуговой сварки алюминиевых сплавов

Условное обозначение шва по ГОСТ 14806	Толщина свариваемого металла, мм	Диаметр вольфрамового электрода, мм	Диаметр проволоки, мм	Расход аргона, л/мин	Ток дуги, А	Количество слоев	Примечание
С1	1,5	1,0	1,0	5–6	60–90	1	–
	2,0	3,0	2,0	5–6	80–110	1	
С7	3,0	4,0	3,0	7–8	100–130	2	–
С5	2,0	3,0–4,0	2,0–2,5	5–6	80–100	1	–
	3,0–4,0	4,0	3,0	7–8	150–170	1	
	5,0–12,0	4,0–5,0	3,0	7–8	180–200	1–4	

Условное обозначение шва по ГОСТ 14806	Толщина свариваемого металла, мм	Диаметр вольфрамового электрода, мм	Диаметр проволоки, мм	Расход аргона, л/мин	Ток дуги, А	Количество слоев	Примечание
C25	5,0–12,0	5,0	4,0–5,0	10–12	240–260	2–10	Количество слоев изменяется в зависимости от толщины металла
	12,0–30,0	8,0	6,0–8,0	12–14	400–450	2–5	
T1, T3	1,5–20,0	5,0–6,0	4,0	8–10	180–260	1–5	Количество слоев изменяется в зависимости от толщины металла
H1, H2	1,5–20,0	4,0	3,0–5,0	8–10	140–150	1–5	Количество слоев изменяется в зависимости от толщины металла
		5,0		10–12	180–220		
		6,0		12–14	220–260		

Заключение

Правильный выбор марки присадочной проволоки для сварки плавлением алюминиевых сплавов в значительной мере обеспечивает необходимый уровень механических свойств сварных соединений, их сопротивление коррозии и усталостному разрушению.

При выборе марки присадочной проволоки важен ее химический состав, наличие элементов модификаторов структуры металла шва, а также отсутствие на поверхности проволоки дефектов в виде плен, трещин, закатов, вмятин, заусенцев, расслоений и резких перегибов. Одним из параметров, определяющих качество присадочной проволоки, является ее овальность в поперечном сечении.

Помимо присадочных проволок, применяемых при сварке традиционных алюминиевых сплавов, для сварки сплавов системы Al–Mg–Sc изготавливаются присадочные проволоки, в состав которых также вводится скандий в количестве 0,15–0,60 %.

Проволоки, легированные скандием, более дорогие по стоимости по сравнению с традиционными присадочными проволоками. Однако их применение для сварки традиционных алюминиевых сплавов позволяет повысить уровень механических свойств сварных соединений, а при подварке дефектных участков швов – подавить повторное образование трещин на ремонтируемом участке шва.

В настоящее время наиболее прогрессивной технологией подготовки алюминиевой

проволоки к сварке является технология финишной очистки (скальпирование) проволоки, после которой проволока полностью готова к применению. Эта технология и использование вакуумной упаковки позволяют исключить из процесса подготовки к сварке присадочного материала такую трудоемкую и неэкологичную операцию, как очистка поверхности присадочной проволоки от оксидов алюминия.

Список литературы

1. Дриц А.М., Овчинников В.В. Сварка алюминиевых сплавов (монография). М.: Изд-во «Руда и металлы», 2017. – 440 с.
2. Грушко О.Е., Овсянников Б.В., Овчинников В.В. Алюминиево-литиевые сплавы: металлургия, сварка, металловедение (монография). М.: Наука, 2014. – 298 с.
3. Дриц А.М., Овчинников В.В. Свариваемость и свойства сварных соединений высокопрочных алюминиевых сплавов системы Al–Cu–Li // Металловедение и термическая обработка металлов. 2011. № 9. С. 45–49.
4. Дриц А.М., Овчинников В.В. Сравнительные исследования свойств сварных соединений российских и американских алюминево-литиевых сплавов // Цветные металлы. 2003. № 12. С. 71–77.
5. Рязанцев В.И., Овчинников В.В. Циклическая прочность сварных соединений из алюминиевых сплавов // Заготовительные производства в машиностроении. 2008. № 12. С. 10–14.

6. Лукин В.И., Скупов А.А., Йода Е.Н. Исследование свариваемости алюминий-литиевого сплава // Сварочное производство. 2017. № 5. С. 18–23.
7. Овчинников В.В. Пористость при сварке алюминиевых сплавов // Заготовительные производства в машиностроении. 2008. № 1. С. 12–16.
8. Ищенко А.Я. Сварка алюминиевых сплавов (направления исследований, проводимых ИЭС им. Е.О. Патона) // Автоматическая сварка. 2007. № 11. С. 10–13.
9. Toshihiko Fukuda. Weldability of aluminum alloys 7000 series // Journal of Light Metal Welding @Construction. Япония. 2010. Vol. 48. No 1. P. 2–14.
10. Seiji Sasabe. Effect of manganese on the formation of phase separation of microcracks in HAZ of joints of aluminium alloy 6082 // Journal of Japan Institute of Light Metals. 2010. Vol. 60. No 5. P. 213–219.
11. Грушко О.Е., Гуреева М.А., Овчинников В.В. Свариваемость и механические свойства холоднокатаных листов из сплава системы Al-Mn // Заготовительные производства в машиностроении. 2007. № 3. С. 21–23.
12. Рязанцев В.И., Гринин В.В., Овчинников В.В. К вопросу об оценке свариваемости алюминиевых сплавов // Сварочное производство. 1989. № 9. С. 7–9.
13. Якушин Б.Ф., Бакуло А.В., Шиганов И.Н. Повышение свариваемости термоупрочненных алюминиевых сплавов // Цветные металлы. 2016. № 5. С. 79–84.
14. Основные характеристики свариваемости сплавов 1151 и 1201 / Н.Г. Третьяк, Р.В. Илюшенко, М.Р. Яворская, В.И. Зайцев // Автоматическая сварка. 1991. № 9. С. 31–33.
15. Рязанцев В.И., Филатов Ю.А., Игнатьев Ю.Е. О выборе присадочной проволоки для дуговой сварки алюминиевых сплавов системы Al-Mg и Al-Cu // Авиационная промышленность. 2003. № 2. С. 43–45.
16. Федорчук В.Е. Особенности формирования микроструктуры и химической неоднородности в сварных соединениях сплавов типа В96 при легировании их скандием // Сварочное производство. 2014. № 8. С. 3–7.
17. Технологии подготовки свариваемых изделий при АрДС тонколистовых конструкций / А.О. Кошелев, Е.В. Никитина, В.А. Фролов, А.Н. Власенко // Сварочное производство. 2016. № 8. С. 25–28.
18. Игнатьев Ю.Е., Овчинников В.В., Рязанцев В.И. Импульсная и пульсирующая дуговая сварка алюминиевых сплавов // Машиностроение и инженерное образование. 2007. № 3. С. 12–28.
19. Сборка-сварка авиационных конструкций на станочных комплексах с ЧПУ / В.И. Рязанцев, В.Н. Мацнев, В.В. Гринин, В.В. Овчинников // Заготовительные производства в машиностроении. 2006. № 4. С. 11–16.
20. Рудзей Г.Ф. Влияние дефектов сварки и числа ремонтных проходов на сопротивление усталости сварных соединений из алюминиевых сплавов // Сварочное производство. 2013. № 11. С. 32–35.

ОВЧИННИКОВ Виктор Васильевич

E-mail: vikov1956@mail.ru
Тел.: (916) 512-43-82

Доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение» Московского политехнического университета, академик Международной академии информатизации. Сфера научных интересов: разработка новых алюминиевых сплавов и технологии получения из них сварных конструкций с высоким уровнем эксплуатационных свойств. Автор пяти монографий, 290 статей, 126 изобретений и более 50 учебников и учебных пособий.

ГУРЕЕВА Марина Алексеевна

E-mail: vag1706@mail.ru
Тел.: (916) 263-40-42

Кандидат технических наук, доцент, ведущий эксперт управления деформируемых алюминиевых сплавов ООО «Арконик-СМЗ». Сфера научных интересов: разработка новых деформируемых алюминиевых сплавов. Автор двух монографий, 85 статей, 22 изобретений.

ДРИЦ Александр Михайлович

E-mail: Alexander.Drits@arconik.com
Тел.: (916) 642-82-73

Кандидат технических наук, директор по развитию бизнеса ООО «Арконик-СМЗ». Сфера научных интересов: разработка новых деформируемых алюминиевых сплавов. Автор двух монографий, 92 статей, 32 изобретений.