



ОСОБЕННОСТИ ИМПУЛЬСНО-ДУГОВОЙ СВАРКИ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ БЕЗ ПРИМЕНЕНИЯ ПОДКЛАДНЫХ ФОРМИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ

В. С. МАШИН, канд. техн. наук, **М. П. ПАШУЛЯ**, инж. (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Исследованы технологические особенности автоматической односторонней импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом в аргоне стыковых соединений тонколистовых алюминиевых сплавов АМг6 и 1915Т толщиной до 3 мм без применения подкладных формирующих элементов (сварка «на весу»). Показано влияние модуляции параметров режима сварки на геометрическую форму швов и их макроструктуру. Даны рекомендации по технологии сварки «на весу».

Ключевые слова: сварка плавящимся электродом, тонколистовые алюминиевые сплавы, импульсная дуга, модуляция параметров сварки, стыковые соединения, геометрия швов, макроструктура соединений

Известно, что импульсно-дуговая сварка плавящимся электродом в инертных газах (ИДСПЭ) алюминиевых сплавов по сравнению со сваркой плавящимся электродом стационарной дугой (СПЭ) позволяет улучшить формирование швов, увеличить глубину проплавления свариваемого металла, стабилизировать процесс переноса капель электродного металла, уменьшить выгорание (испарение) легкокипящих легирующих элементов с электродной проволоки и повысить механические свойства сварных соединений [1–4].

В последние десятилетия за рубежом для ИДСПЭ стали широко применять сварочные установки, которые включают импульсные источники питания с синергетическим управлением процессом переноса капель электродного металла с поддержанием синхронного процесса — «один импульс—одна капля» и подающие механизмы толкающе-тянущего типа [3–5]. Такие источники питания типа TransPulseSynergic (TPS) предназначены для автоматизированных и роботизированных линий по ИДСПЭ изделий различного назначения и позволяют осуществлять одностороннюю сварку металла малой толщины [5].

При СПЭ и ИДСПЭ конструкций из алюминиевых сплавов для исключения прожога металла и качественного формирования обратной стороны шва используют съемные подкладные формирующие элементы (ПФЭ) из нержавеющей стали с канавками различных размеров сегментной, прямоугольной или треугольной формы [5–7]. В случае невозможности применения съемных ПФЭ из стали используют остающиеся подкладные эле-

менты, изготовленные из листового материала, близкого по химическому составу к свариваемому металлу. Такие ПФЭ приваривают прихватками к одной из сторон стыкуемого листа и после сварки «в замок» они остаются в конструкции.

Для изготовления сварных конструкций очень часто применяют алюминиевые панели. У этих панелей, выполненных методом прессования, с одной стороны уже предусмотрен «выступ», выполняющий функцию остающегося ПФЭ [8]. Однако не все алюминиевые сплавы могут быть подвергнуты прессованию, а сами прессованные панели по себестоимости изготовления намного дороже прокатанного листа. Кроме того, все остающиеся ПФЭ могут существенно повышать массу сварных изделий.

ИДСПЭ без применения ПФЭ (сварка «на весу») можно отнести к ресурсосберегающим технологиям, так как она позволяет исключить затраты на материал ПФЭ, время на его изготовление, а также снизить общее потребление электроэнергии. Основными факторами, сдерживающими широкое применение сварки без ПФЭ, является возможность образования прожогов металла [9] из-за отсутствия специального электросварочного оборудования.

В связи с этим в большинстве случаев соединения алюминиевых сплавов, получаемые «на весу» (особенно при относительно больших и протяженных зазорах в стыках), выполняют ручной аргонодуговой сваркой неплавящимся вольфрамовым электродом (СНЭ) или полуавтоматической СПЭ. При этом сварщик следит за усадкой жидкого металла сварочной ванны и увеличивает длину дуги для снижения сварочного тока и/или повышает скорость сварки. Такие манипуляции рукой держат оператора сварки в постоянном физическом напряжении и не всегда обеспечивают

удовлетворительное внешнее формирование швов при сварке «на весу».

С теплофизической точки зрения прожог соединения при сварке определяется подвижностью жидкого металла, которая зависит от температуры сварочной ванны и действия внутренних и внешних сил — силы тяжести металла ванны и давления сварочной дуги [10]. Единственным противодействием вытеканию жидкой ванны является сила поверхностного натяжения металла и прочность упругой пленки оксидов, образуемой со стороны корня шва. Ее прочность обратно пропорциональна деформации и при определенных условиях равна нулю, что вызывает образование прожога [10, 11]. Экспериментально установлено, что можно подобрать необходимый режим автоматической СПЭ, при котором соблюдается равенство противодействующих сил. Однако такое равновесное состояние является весьма неустойчивым из-за наличия разных по величине зазоров в стыкуемых элементах и действия случайных внешних возмущений. На практике для повышения устойчивости сварочного процесса, выполняемого «на весу», наиболее часто применяют принудительные колебания (модуляцию) его параметров — напряжения дуги (сварочного тока) и скорости сварки. Периодическая модуляция одного из них ведет к изменениям температуры и размеров сварочной ванны, а также давлению дуги [10–13], что позволяет изменять тепловложение в свариваемый металл, управлять скоростью кристаллизации металла ванны и, таким образом, осуществлять сварку без применения ПФЭ.

Наиболее простым способом управления тепловложением в свариваемый металл является модуляция одного из параметров — выходного напряжения источника питания U_d , скорости сварки $v_{св}$ или скорости подачи электродной проволоки $v_{п.пр}$ при сохранении постоянными других параметров сварочного процесса [14].

В настоящее время широкое применение находит оборудование с синергетическим управлением процессом ИДСПЭ, где выходные параметры силового сварочного блока и скорость подачи электродной проволоки электрически взаимосвязаны между собой синергетическим уравнением [4]. Взаимосвязь выходного напряжения источника питания U_d с $v_{п.пр}$ может позволить с помощью дополнительного модулятора, включенного в схему электропривода перемещения проволоки, осуществлять периодический переход с большего режима сварки на меньший, и наоборот. Аналогичный процесс сварки можно получить и с использованием источника тока и электропривода подачи сварочной проволоки, электрически не связанных между собой, но синхронизированных по модуляции.

Управление тепловложением в свариваемый металл при сварке без применения ПФЭ может быть достигнуто и при одновременном изменении двух или трех параметров сварочного процесса как при использовании синергетического оборудования, так и обычного оборудования с раздельно работающими функциональными узлами комплекса для ИДСПЭ. Следует отметить, что из-за наличия инерционных звеньев в электрических цепях управления модулированные параметры сварочного процесса изменяются не скачкообразно, а по экспоненциальному закону с учетом постоянной времени их электрических цепей. Разная скорость нарастания (спада) модулируемых параметров, которая влияет на формирование валика сварного шва, требует предварительно длительной настройки режимов сварки. Поэтому управление тремя параметрами сварочного процесса является нерациональным, если положительный эффект может достигаться при меньшем их количестве. Следует отметить, что сам по себе процесс СПЭ тонколистовых алюминиевых сплавов по выполнению намного сложнее, чем процесс СНЭ, и тем более, при сварке металла «на весу» с относительно большими зазорами в соединяемых листах. Поэтому в соответствии с ГОСТ 14806–80, разработанным в начале 1970-х годов и действующим сегодня, процесс СПЭ алюминиевых сплавов может применяться только для элементов толщиной не менее 3 мм для стыковых и тавровых соединений и не менее 4 мм для угловых и нахлесточных соединений.

Целью данных исследований являлось усовершенствование техники и определение особенностей технологии автоматической односторонней ИДСПЭ в аргоне без применения ПФЭ, позволяющих получить удовлетворительное формирование швов в соединениях алюминиевых сплавов толщиной менее 3 мм.

Методика исследований. Для проведения исследований применяли алюминиевые сплавы АМг6 толщиной 1,8 мм, 1915Т толщиной 2,8 мм (ГОСТ 4784–74) и сварочные проволоки СвАМг6 (ГОСТ 7871–75) диаметром 1,0; 1,2 и 1,6 мм. В качестве защитного газа использовали аргон высшего сорта. ИДСПЭ стыковых соединений выполняли с использованием источника фирмы «Fronius» TPS-450 на сварочной головке АСТВ-2М. Перед сваркой пластины размером 400×150×8 мм подвергали химическому травлению и зачистке кромок и околошовной зоны шабером с двух сторон. Собранные пластины встык прихватывали по краям ручной СНЭ и устанавливали на приспособление, имеющее канавку размером 50×15 мм, что имитировало сварку «на весу».

Для изучения влияния зазоров на формирование корня шва в пластинах проводили выборку металла со стороны стыкуемых кромок размером

Таблица 1. Режимы сварки сплава АМгб проволокой диаметром 1,2 мм с модуляцией $v_{п.пр}$ и $v_{св}$

№ образца	$I_{св}$, А	$U_{д}$, В	$v_{св}$, м/ч	$v_{п.пр}$, м/мин	$w_{п.эн}$, кДж/см
Модуляция $v_{п.пр}$					
16	57...60	17,1...17,2	18	3,7...4,0	1,440
18	66...70	17,2...17,5	27	4,3...4,6	1,129
20	75...79	17,5...17,7	36	4,8...5,1	0,976
22	85...89	18,0...18,2	45	5,4...5,7	0,907
24	95...99	18,4...18,7	53	5,8...6,1	0,878
Модуляция $v_{св}$					
3	59	17,8	16...18	4,0	1,600
8	70	18,0	25...28	4,6	1,232
10	80	18,3	34...37	5,1	1,069
12	89	18,5	41...44	5,7	1,004
14	96	18,8	47...51	6,0	0,955

0,25×90 и 0,5×90 мм, что соответствовало общему зазору в собранном стыковом соединении 0,5 и 1,0 мм. Расстояние между выборками составляло 50 мм. Это исключало значительное стягивание кромок во время сварки и позволяло поддерживать постоянный зазор в соединениях.

Угол наклона сварочной горелки к металлу составлял 10...12°, расстояние между соплом горелки и свариваемым металлом 10 мм, расход аргона 15...20 л/мин. Геометрические параметры швов (ширину B и высоту H выпуклости шва, а также ширину b и высоту h корня шва) определяли на поперечных макрошлифах с точностью ±0,1 мм. Значения погонной энергии процесса сварки $w_{п.эн}$ рассчитывали с учетом того, что эффективный КПД дуги в аргоне составляет 0,72. Определяли также расход сварочной проволоки

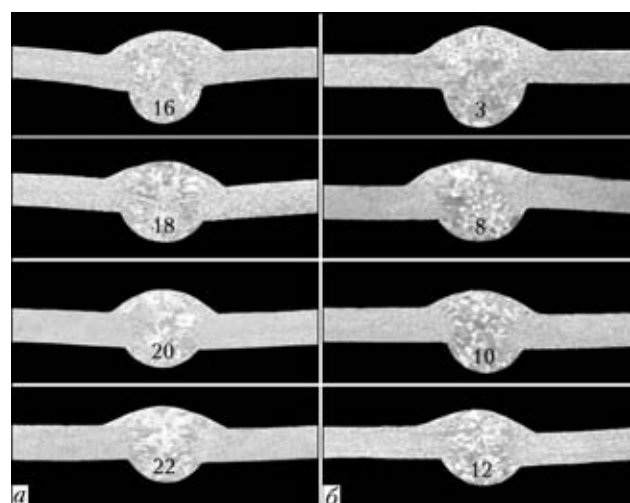


Рис. 1. Макроструктуры (×3) швов в зависимости от режимов сварки сплава АМгб проволокой диаметром 1,2 мм с модуляцией $v_{п.пр}$ (а) и $v_{св}$ (б). Здесь и далее цифры на шлифах отвечают номерам образца

$P_{пр}$, расходуемой при сварке одного погонного метра шва.

Для осуществления модуляции одного или нескольких параметров сварочного процесса было предложено устройство, позволяющее выполнять необходимые коммутации в электрических цепях управления $U_{д}$, $v_{п.пр}$ и $v_{св}$. Таким устройством служило программируемое электронное реле времени с бесконечным количеством циклов и трехканальным выходом. Каждый выход представлял собой ключ с параллельно подсоединенным к нему переменным резистором, который был введен в разрыв электрической цепи последовательно с основным резистором — органом управления параметрами $U_{д}$, $v_{п.пр}$ и $v_{св}$ соответственно. При выполнении ИДСПЭ алюминиевых сплавов без ПФЭ применяли два программируемых реле времени РВ-3 и РВ-8 с трех- и восьмиканальным выходом, собранных по схеме «пульс–пара». Период непрерывной модуляции составлял $2,2 \pm 0,2$ с при продолжительности подъема или спада модулируемых значений $1,1 \pm 0,1$ с. Частота импульсов сварочного тока $F_{имп}$, выдаваемая аппаратом TPS-450, соответствовала значению $F_{имп} = KI_{св}$, Гц, где K — коэффициент пропорциональности, зависящий от марки и диаметра электродной проволоки и равный 0,9...1,3 Гц/А для проволоки СвАМгб диаметром 1,2 мм.

Результаты исследований. В табл. 1 приведены режимы ИДСПЭ сплава АМгб проволокой диаметром 1,2 мм с модуляцией $v_{п.пр}$ и $v_{св}$, а на рис. 1 представлены макроструктуры швов, полученных на этих режимах сварки. В диапазоне указанных значений режимов ИДСПЭ изменение $v_{п.пр}$ на 0,3 м/мин и $v_{св}$ на 3 ± 1 м/ч (за период модуляции $2,2 \pm 0,2$ с) позволяет регулировать скорость кристаллизации металла в корневой части шва и получать соединения без прожогов. При этом наиболее удовлетворительное формирование швов на сплаве АМгб толщиной 1,8 мм удается получить при $I_{св} > 85$ А и $v_{св} > > 45$ м/ч.

Приблизительно такие же зависимости наблюдаются и при ИДСПЭ сплава АМгб проволокой диаметром 1 мм (табл. 2 и рис. 2) с модуляцией $v_{п.пр}$ (рис. 2, а) и $v_{св}$ (рис. 2, б). Проанализировав данные, представленные в табл. 1, 2 и на рис. 1, 2, можно заключить, что за один период модуляции повышение $v_{п.пр}$ на 0,3...0,4 м/мин приводит к увеличению $I_{св}$ на 4...5 А и $U_{д}$ на 0,2...0,4 В. Независимо от параметра сварки, который подвергается модуляции, оптимальное формирование корня шва достигается при $w_{п.эн} \leq 0,8$ кДж/см с использованием проволоки диаметром 1 мм.

В табл. 3 приведены режимы ИДСПЭ сплава 1915Т проволокой диаметром 1,6 мм без применения ПФЭ и с модуляцией $v_{п.пр}$ и $v_{св}$, а на рис. 3 представлены макроструктуры швов, полученных

Таблица 2. Режимы сварки сплава АМгб проволокой диаметром 1 мм с модуляцией $v_{п.пр}$ и $v_{св}$

№ образца	$I_{св}$, А	$U_{д}$, В	$v_{св}$, м/ч	$v_{п.пр}$, м/мин	$w_{п.эн}$, кДж/см
Модуляция $v_{п.пр}$					
28	56...61	15,4...15,7	20	5,0...5,3	1,175
30	72...78	16,7...17,0	40	6,5...7,0	0,816
31	84...89	17,1...17,5	50	7,5...7,9	0,776
32	94...99	17,6...17,9	60	8,3...8,7	0,742
Модуляция $v_{св}$					
34	61	15,6	19...22	5,3	1,203
35	71	16,6	29...32	6,2	1,002
36	77	17,0	40...43	7,0	0,818
37	89	17,4	48...52	7,9	0,803

Таблица 3. Режимы сварки сплава 1915Т проволокой диаметром 1,6 мм с модуляцией $v_{п.пр}$ и $v_{св}$

№ образца	$I_{св}$, А	$U_{д}$, В	$v_{св}$, м/ч	$v_{п.пр}$, м/мин	$w_{п.эн}$, кДж/см
Модуляция $v_{п.пр}$					
120	72...76	17,1...17,3	20	2,5...2,8	1,650
130	87...92	17,0...17,8	30	2,8...3,1	1,346
140	101...106	17,9...18,1	40	3,4...3,5	1,207
150	115...119	18,5...18,7	49	3,7...3,8	1,151
160	126...130	19,5...19,6	57	4,1...4,2	1,135
Модуляция $v_{св}$					
220	77	17,3	20...22	2,8	1,644
230	92	17,5	30...32	3,2	1,346
240	106	18,4	40...43	3,5	1,218
250	119	18,7	49...52	4,0	1,142
260	131	19,2	54...57	4,2	1,175

на этих режимах сварки. Во всем диапазоне указанных режимов ИДСПЭ изменение $v_{п.пр}$ на 0,1...0,3 м/мин и $v_{св}$ на 2...3 м/ч позволяет получать удовлетворительное формирование корня швов без прожогов соединений. Оптимальные геометрические размеры швов удается получить на $I_{св} \geq 120$ А, $v_{св} \geq 45$ м/ч и $w_{п.эн} < 1,15$ кДж/см.

В табл. 4 приведены режимы ИДСПЭ сплава 1915Т проволокой диаметром 1,2 мм с модуляцией $U_{д}$ с одновременной модуляцией двух параметров ($v_{п.пр}$ и $v_{св}$) и с одновременной модуляцией трех параметров ($U_{д}$, $v_{п.пр}$ и $v_{св}$), а на рис. 4 — макроструктуры швов, полученных на этих режимах. При непрерывной модуляции $U_{д}$ в пределах 0,2...0,4 В (в результате изменения холостого хода источника питания) незначительно снижается значение $I_{св}$ и увеличивается длина дуги, что позволяет несколько разгладить чешуйчатую поверхность швов. При одновременной модуляции двух или трех параметров процесс формирования швов происходит более стабильно. Не-

зависимо от количества параметров, которые одновременно подвергаются модуляции, оптимальное формирование корня швов на сплаве 1915Т наблюдается при $w_{п.эн} < 1,1$ кДж/см.

Анализ режимов ИДСПЭ сплавов АМгб и 1915Т, представленных в табл. 1...4, показал, что при любых случайных сбоях скорости подачи электродной проволоки, например, при резком возрастании $v_{п.пр}$ на 1 м/мин, значение $I_{св}$ будет изменяться по-разному — для проволоки диаметром 1 мм $I_{св}$ повысится на 10 А, при диаметре 1,2 мм — на 16 А, а при диаметре 1,6 мм — на 30 А (рис. 5). Чем больше диаметр проволоки марки СВАМгб, тем больше «скачок» $I_{св}$ и соответственно больше вероятность образования прожога, что является одной из причин, объясняющей целесообразность применения малых диаметров проволок при сварке «на весу».

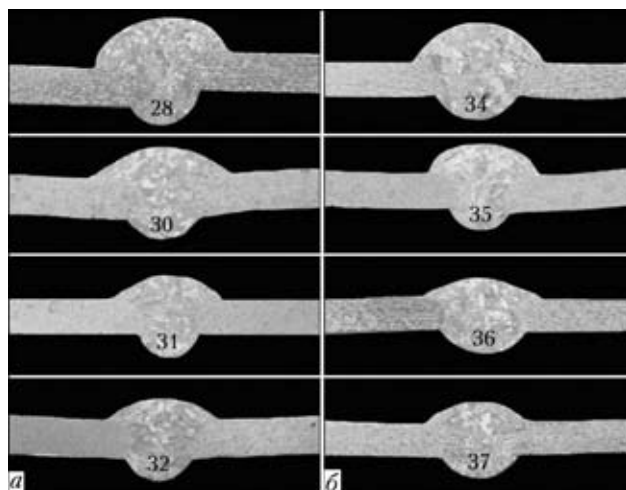


Рис. 2. Макроструктуры (X3) швов в зависимости от режимов сварки сплава АМгб проволокой диаметром 1 мм с модуляцией $v_{п.пр}$ (а) и $v_{св}$ (б)

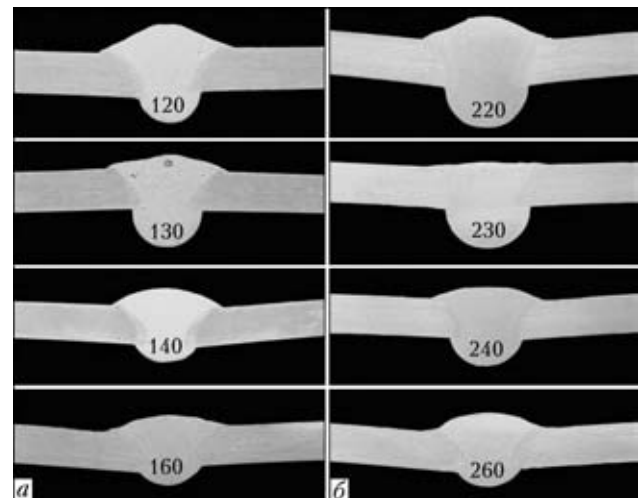


Рис. 3. Макроструктуры (X3) швов в зависимости от режимов сварки сплава 1915Т проволокой диаметром 1,6 мм с модуляцией $v_{п.пр}$ (а) и $v_{св}$ (б)

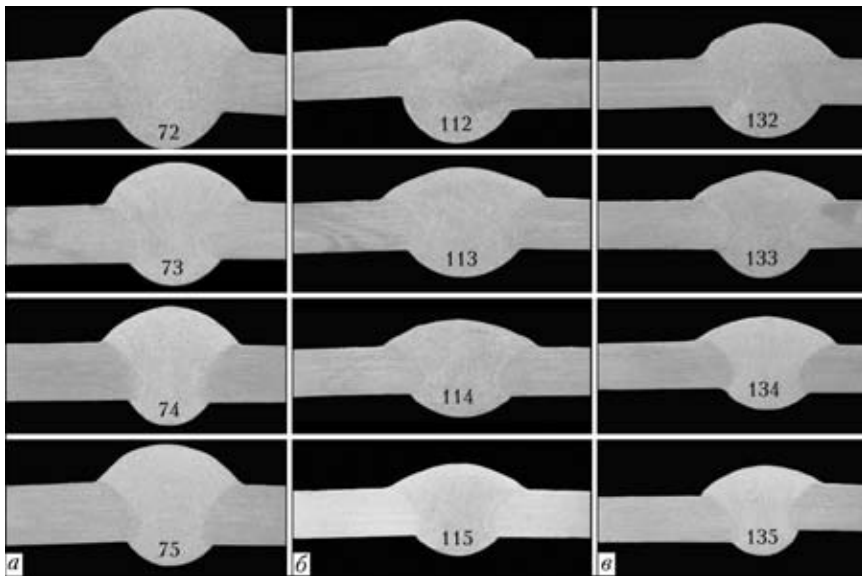


Рис. 4. Макроструктура (×4) швов в зависимости от режимов сварки сплава 1915Т проволокой диаметром 1,2 мм с модуляцией U_d (а), с одновременной модуляцией $v_{п.пр}$, $v_{св}$ (б) и с одновременной модуляцией U_d , $v_{п.пр}$ и $v_{св}$ (в)

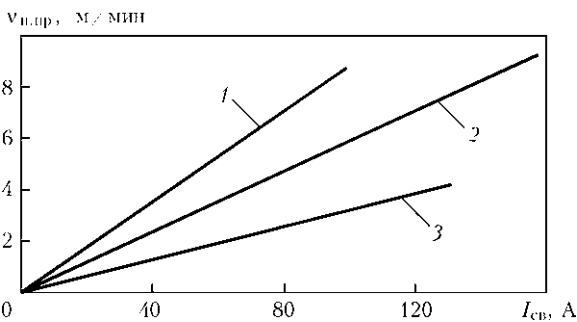


Рис. 5. Взаимосвязь значений сварочного тока и скорости подачи электродной проволоки марки СвАМГб диаметром 1 (1), 1,2 (2) и 1,6 мм (3)

Т а б л и ц а 4. Режимы сварки сплава 1915Т проволокой диаметром 1,2 мм с модуляцией U_d , с одновременной модуляцией $v_{п.пр}$, $v_{св}$ и одновременной модуляцией U_d , $v_{п.пр}$ и $v_{св}$

№ образца	$I_{св}$, А	U_d , В	$v_{св}$, М/Ч	$v_{п.пр}$, М/МИН	$W_{п.эп}$, КДЖ/СМ
Модуляция U_d					
72	76...78	16,6...17,0	18	4,9	1,862
73	91...93	17,4...17,8	27	5,7	1,554
74	105...107	18,6...18,9	36	6,5	1,427
75	116...118	20,1...20,3	45	7,3	1,561
Модуляция $v_{п.пр}$, $v_{св}$					
112	75...79	17,6...17,8	15...18	4,6...4,9	2,141
113	88...92	18,5...18,7	23...27	5,3...5,6	1,736
114	101...105	19,3...19,4	36...41	6,1...6,4	1,338
115	115...118	20,1...20,3	47...49	6,9...7,2	1,265
Модуляция U_d , $v_{п.пр}$, $v_{св}$					
132	71...75	16,7...17,2	15...18	4,6...4,8	1,938
133	87...89	17,3...17,6	23...27	5,2...5,5	1,588
134	97...101	18,1...18,4	36...41	5,9...6,2	1,213
135	109...111	19,1...19,4	47...49	6,6...6,8	1,140

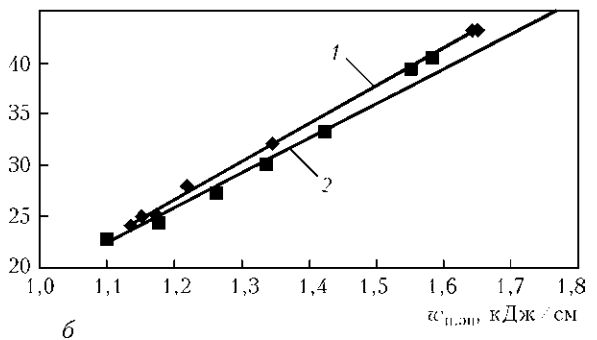
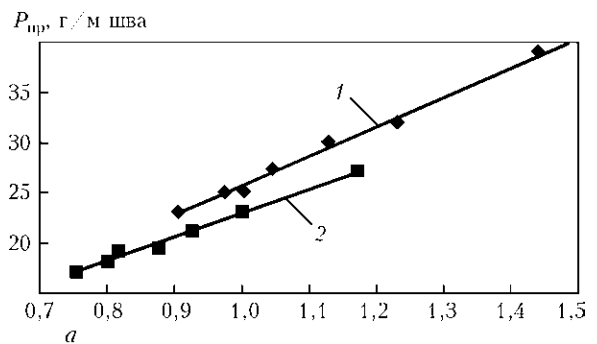


Рис. 6. Влияние погонной энергии процесса сварки и диаметра электродной проволоки на расход наплавленного металла при сварке одного погонного метра шва: а — сплав АМГб, проволока диаметром 1,2 (1) и 1 мм (2); б — сплав 1915Т, проволока диаметром 1,6 (1) и 1,2 мм (2)

Т а б л и ц а 5. Режимы сварки сплава 1915Т проволокой диаметром 1,2 мм с модуляцией $v_{п.пр}$

№ образца	$I_{св}$, А	U_d , В	$v_{св}$, М/Ч	$v_{п.пр}$, М/МИН	$W_{п.эп}$, КДЖ/СМ
320	76...79	17,9...18,1	18	4,8...5,1	1,996
330	87...91	18,6...18,8	27	5,4...5,7	1,580
340	101...105	20,0...20,3	36	6,2...6,5	1,490
350	111...115	20,3...20,6	45	6,8...7,1	1,328
360	122...126	21,2...21,4	53	7,3...7,6	1,292

Причиной эффективности применения малых диаметров проволок является также снижение массы жидкого металла ванны и соответственно уменьшение времени кристаллизации металла и снижение «провисания» корня шва под соединением. На рис. 6 показан расход сварочной проволоки при ИДСПЭ одного погонного метра шва в зависимости от $w_{п.эн}$ и диаметра проволоки. При одинаковом тепловложении в свариваемый металл минимальная масса ванны образуется при использовании проволоки диаметром 1 мм, причем чем выше $w_{п.эн}$ процесса сварки сплава АМг6, получаемая при минимальных значениях $I_{св}$ и $v_{св}$, тем заметнее это различие.

Особый интерес при ИДСПЭ, тем более тонколистовых алюминиевых сплавов, представляет оценка влияния значения зазоров в стыкуемых соединениях на стабильность формирования корня швов и возникновения сквозных прожогов металла. Сварку «на весу» сплава 1915Т проволокой диаметром 1,2 мм с модуляцией $v_{п.пр}$ (табл. 5) и $v_{св}$ (табл. 6) осуществляли на одинаковых режимах при различной ширине искусственно созданных зазоров в соединениях. Макроструктуры швов, полученных с модуляцией $v_{п.пр}$ и $v_{св}$ при различных зазорах, представлены на рис. 7, 8. Установлено, что модулированное управление тепловложением позволяет даже при относительно больших зазорах в соединениях (более 10 % толщины свариваемого металла) удерживать жидкий металл в ванне и исключает его вытекание из корня шва. Независимо от значения $w_{п.эн}$ зазоры в соединениях приводят к снижению ширины и высоты лицевой выпуклости шва и значительно повышают ширину и высоту его корневой части (рис. 9).

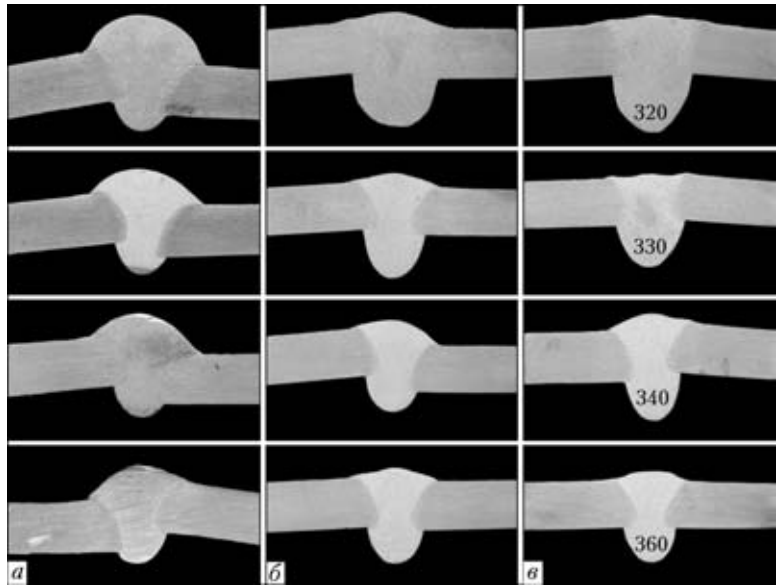


Рис. 7. Формирование швов в зависимости от режимов сварки сплава 1915Т проволокой диаметром 1,2 мм с модуляцией $v_{п.пр}$ в соединениях без зазора (а) и с зазором 0,5 (б) и 1 мм (в)

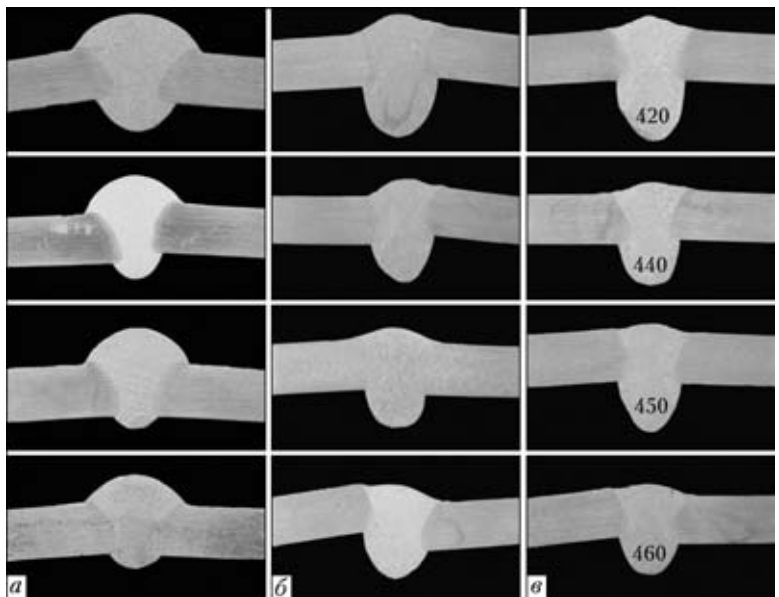


Рис. 8. Формирование швов в зависимости от режимов сварки сплава 1915Т проволокой диаметром 1,2 мм с модуляцией $v_{св}$ в соединениях без зазора (а) и с зазором 0,5 (б) и 1 мм (в)

Выводы

1. Модуляция основных параметров режима ИДСПЭ тонколистовых алюминиевых сплавов позволяет периодически изменять тепловложение в свариваемый металл, управлять скоростью кристаллизации металла ванны и получать надежное формирование корня шва без применения ПФЭ при сварке «на весу».

2. Электронные устройства, дополнительно подключенные к аппаратам типа TransPulseSynergic, позволяют осуществлять раздельную или сов-

Таблица 6. Режимы сварки сплава 1915Т проволокой диаметром 1,2 мм с модуляцией $v_{св}$

№ образца	$I_{св}$, А	$U_{д}$, В	$v_{св}$, М/ч	$v_{п.пр}$, М/МИН	$w_{п.эн}$, КДж/СМ
420	77	18,3	16...18	5,1	2,148
430	88	19,0	24...27	5,7	1,700
440	102	19,5	33...36	6,3	1,497
450	115	20,6	42...45	7,1	1,411
460	132	21,5	51...53	8,0	1,415

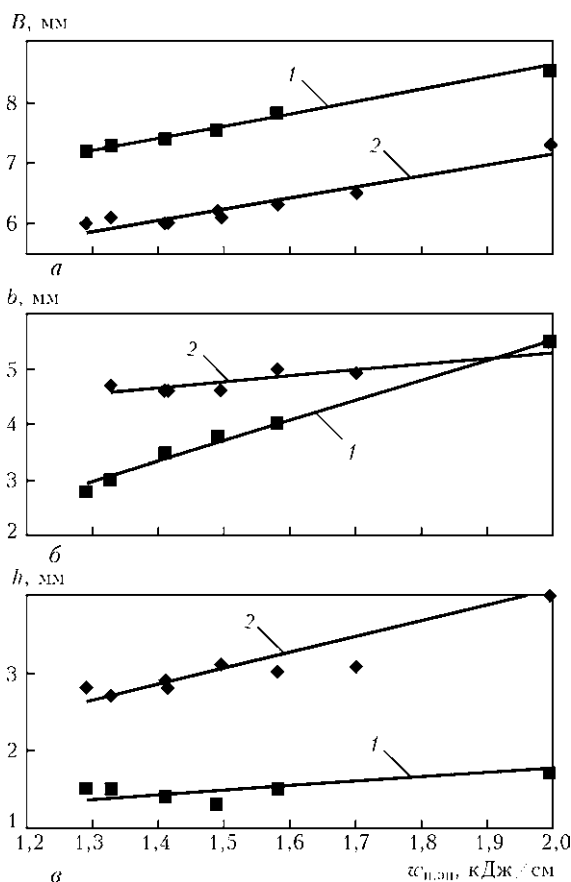


Рис. 9. Влияние погонной энергии процесса сварки сплава 1915Т и зазора (1 — 0 мм; 2 — 1) в стыковых соединениях на ширину выпуклости швов (а), ширину (б) и высоту h корня проплавления (в)

местную модуляцию параметров режима ИДСПЭ — U_d , $I_{св}$, $v_{п.пр}$ и $v_{св}$. Непрерывная модуляция с периодом $2,2 \pm 0,2$ с дает возможность выполнять автоматическую сварку стыковых соединений «на весу» при наличии протяженных (до 90 мм) локальных зазоров шириной до 1 мм.

3. При ИДСПЭ без применения ПФЭ целесообразно использовать относительно тонкие электродные проволоки — для металла толщиной

2,5...3 мм проволоку диаметром 1,2 мм, а менее 2 мм — проволоку диаметром 1 мм.

1. Влияние режимов импульсно-дуговой сварки алюминия АДО на форму и пористость швов / В. С. Машин, В. М. Павшук, И. В. Довбищенко, П. П. Шейко // Автомат. сварка. — 1991. — № 4. — С. 57–60.
2. Жерносеков А. М., Андреев В. В. Импульсно-дуговая сварка плавящимся электродом (Обзор) // Там же. — 2007. — № 10. — С. 48–52.
3. Иценко А. Я., Машин В. С., Пашуля М. П. Технологические особенности двухдуговой импульсной сварки плавящимся электродом алюминиевых сплавов // Там же. — 2005. — № 1. — С. 14–18.
4. Воронай Н. М., Илюшенко В. М., Ланкин Ю. Н. Особенности импульсно-дуговой сварки с синергетическим управлением параметрами режимов // Там же. — 1999. — № 6. — С. 26–31.
5. Импульсно-дуговая сварка плавящимся электродом в аргоне тонколистовых алюминиевых сплавов толщиной 1...3 мм / В. С. Машин, М. П. Пашуля, В. А. Шонин, И. Н. Клочков // В печати.
6. Рабкин Д. М., Игнатъев В. Г., Довбищенко И. В. Дуговая сварка алюминия и его сплавов. — М.: Машиностроение, 1982. — 95 с.
7. О некоторых факторах, влияющих на образование окисных включений в сварных швах из сплава АМг6 / Г. Л. Зубриенко, Ф. З. Тэненбаум, В. М. Петрованов, Ю. И. Ситявин // Свароч. пр-во. — 1977. — № 5. — С. 24–27.
8. TIME TWIN — высокопроизводительный способ сварки // Автомат. сварка. — 2003. — № 4. — С. 39–42.
9. Шнейерсон В. Я. О природе прожога тонколистовых соединений при сварке // Сварщик. — 2008. — № 5. — С. 44–45.
10. Фролов В. В. Теоретические основы сварки. — М.: Высш. шк., 1970. — 392 с.
11. Яворский Б. М., Детлаф А. А. Справочник по физике. — М.: Наука, 1980. — 507 с.
12. Средняя температура металла электродных капель при сварке алюминиевых сплавов в инертных газах / А. Я. Иценко, В. С. Машин, И. В. Довбищенко, С. М. Гетманец // Автомат. сварка. — 1994. — № 1. — С. 48–49.
13. Средняя температура металла ванны при дуговой сварке алюминиевых сплавов в инертных газах / А. Я. Иценко, В. С. Машин, И. В. Довбищенко, С. М. Гетманец // Там же. — 1994. — № 11. — С. 15–19.
14. Лебедев В. А. Некоторые особенности дуговой механизированной сварки алюминия с управляемой импульсной подачей электродной проволоки // Свароч. пр-во. — 2007. — № 11. — С. 26–30.

Technological features of automatic one-sided pulsed-arc consumable-electrode welding in argon of butt joints of thin aluminium alloys АМg6 and 1915Т up to 3 mm thick without application of forming backing elements («gravity» welding) were studied. Influence of welding mode parameter modulation on the geometrical shape of welds and their macrostructure was shown. Recommendations on «gravity» welding technology are given.

Поступила в редакцию 06.07.2009