



ПРИМЕНЕНИЕ ДВУХКАНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ИМПУЛЬСНО-ДУГОВОЙ СВАРКИ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА СОЕДИНЕНИЙ

П. П. ШЕЙКО, канд. техн. наук, А. М. ЖЕРНОСЕКОВ, инж., А. В. ЛОЗОВСКАЯ, канд. техн. наук,
Ю. О. ШИМАНОВСКИЙ, инж. (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Экспериментально установлена эффективность применения двухканальной системы автоматической стабилизации процесса импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом (ИДСПЭ) алюминиевых сплавов в условиях действия возмущающих факторов. Показано, что механические свойства стыковых сварных соединений сплава АМг6, полученных способом ИДСПЭ, при увеличении вылета электродной проволоки и снижении напряжения питающей сети ухудшаются. Использование двухканальной системы автоматической стабилизации процесса ИДСПЭ позволяет обеспечить механические свойства стыковых сварных соединений на уровне свойств, получаемых при сварке на оптимальных режимах без возмущений.

Ключевые слова: импульсно-дуговая сварка, плавящийся электрод, алюминиевые сплавы, автоматическая стабилизация, двухканальная система, возмущающие факторы, среднее значение сварочного тока, среднее значение напряжения на дуге, геометрические размеры швов, дефекты, механические свойства

Одним из прогрессивных способов сварки алюминиевых сплавов является импульсно-дуговая сварка плавящимся электродом (ИДСПЭ). В отличие от сварки неплавящимся электродом способ ИДСПЭ позволяет решать многие проблемы, связанные с повышением качества сварных соединений (уменьшение количества и размеров оксидных включений и пор, увеличение производительности процесса сварки, снижение сварочных деформаций и др.) [1–4]. При сварке неизбежно возникают отклонения параметров режимов от номинальных, что обусловлено действием таких возмущающих факторов, как изменение скорости подачи и вылета электродной проволоки, зазоров и депланаций свариваемых кромок, колебаний напряжения питающей сети, сварка по прихваткам и др. Указанные факторы приводят к изменению геометрических параметров швов, появлению различных дефектов, непроваров и несплавлений, а также снижению механических свойств сварных соединений.

В ИЭС им. Е. О. Патона разработаны двухканальные системы автоматической стабилизации (САС) основных энергетических параметров режима ИДСПЭ — средних значений как сварочного тока $I_{св.ср}$, так и напряжения на дуге $U_{д.ср}$ [5, 6].

Целью настоящей работы является оценка влияния разработанных САС процесса ИДСПЭ на качество сварных соединений алюминиевых сплавов.

Проведена оценка влияния основных возмущающих факторов — изменения вылета электродной проволоки и колебания напряжения питающей сети — на качество сварки соединений пластин из сплава АМг6 (ГОСТ 4784–74). Эксперименты про-

водили с использованием сварочной головки типа ГСУ-7 с ее системой управления БАРС-2В, импульсного источника питания типа И-169, созданного в ИЭС им. Е. О. Патона [7], разработанной двухканальной САС: $I_{св.ср}$ (с воздействием на параметры импульсов источника питания) и $U_{д.ср}$ (с воздействием на скорость подачи сварочной проволоки).

Определяли влияние $I_{св.ср}$ и $U_{д.ср}$ на геометрические параметры швов, наплавленных на пластины из сплава АМг6 толщиной 16 мм проволокой СвАМг6 (ГОСТ 7871–75) диаметром 1,6 мм. Полученные зависимости представлены на рис. 1. Установлено, что при ИДСПЭ алюминиевого сплава типа АМг6 важное значение имеет изменение $I_{св.ср}$, колебания которого могут привести к существенным отклонениям глубины проплавления h и ширины B шва (рис. 1, а). Высота выпуклости a шва изменяется незначительно. Сварочный ток $I_{св.ср}$ оказывает большее влияние на глубину проплавления алюминиевых сплавов, чем сталей [8, 9], что объясняется их различными теплофизическими свойствами. Изменение значений $U_{д.ср}$ в диапазоне рабочих токов заметного влияния на геометрию швов не оказывает (рис. 1, б).

Влияние вылета L электродной проволоки на $I_{св.ср}$ и $U_{д.ср}$ оценивали при различных режимах ИДСПЭ (рис. 2). Оптимальные средние значения $I_{св.ср}$ и $U_{д.ср}$ при начальном значении вылета электродной проволоки, равном 15 мм, выбирали исходя из условий обеспечения управляемого переноса металла по закону «1 импульс – 1 капля» и хорошего формирования наплавленных швов. На рис. 2 показано изменение значений $I_{св.ср}$ и $U_{д.ср}$ в зависимости от вылета электродной проволоки $L = 15...30$ мм при ИДСПЭ без САС и с применением двухканальной САС.

Установлено, что с увеличением вылета L электродной проволоки значения $I_{св.ср}$ и $U_{д.ср}$ при сварке алюминиевых сплавов изменяются менее су-

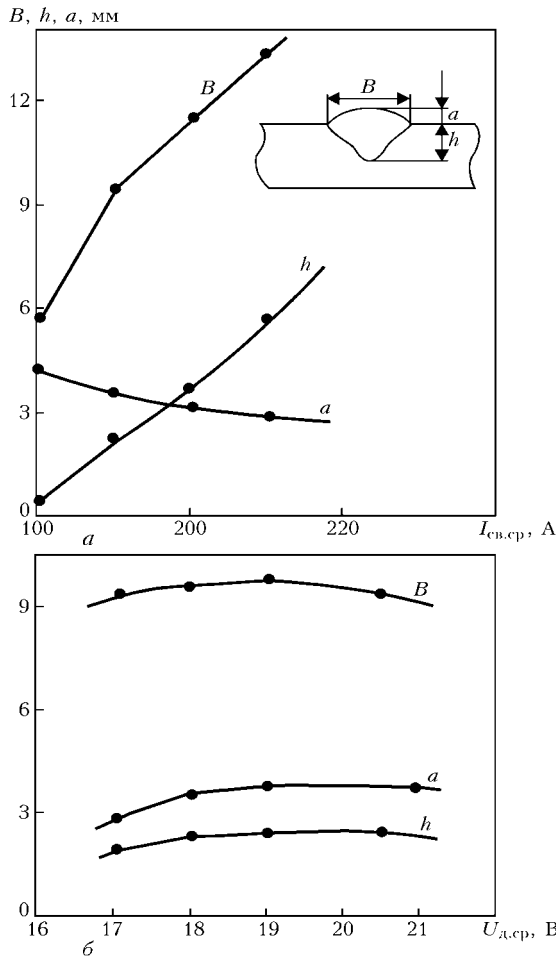


Рис. 1. Влияние $I_{св.ср}$ (а) и $U_{д.ср}$ (б) на геометрические параметры швов, выполненных ИДСПЭ на пластине из сплава АМг6 проволокой СвАМг6 диаметром 1,6 мм в аргоне, при скорости сварки 22 м/ч и длительности импульсов тока 2,1 мс: а — $U_{д.ср} = 18$ В; б — $I_{св.ср} = 150...155$ А

ществено, чем в случае сталей [6]. Однако и такие изменения приводят к образованию дефектов.

Результаты исследований макроструктуры металла швов, выполненных при наплавках ИДСПЭ на пластинах из сплава АМг6 толщиной 10 мм, позволили сделать вывод, что при увеличении вылета электродной проволоки наблюдаются неравномерность проплавления, несплавление металла шва с основным металлом, а также формирование в металле шва центрального кристаллита (рис. 3, а). Наплавленный металл состоит из двух слоев, что обусловлено различной ориентацией кристаллов. Центральный кристаллит представляет собой пачки одинаково ориентированных кристаллов (параллельно или под некоторым углом к оси шва). Формирование такой структуры может привести к ухудшению механических свойств металла шва и сварного соединения в целом. Увеличение вылета электродной проволоки сопровождается ростом длины дуги, что увеличивает количество и размер пор — от 0,2 до 1,0...1,5 мм (рис. 3, а). При использовании САС (рис. 3, б) достигается равномерность проплавления, несплавление с основным металлом отсутствует, могут образоваться отдельные фрагменты центрального кристаллита и поры незначительного (до 0,1 мм) размера.

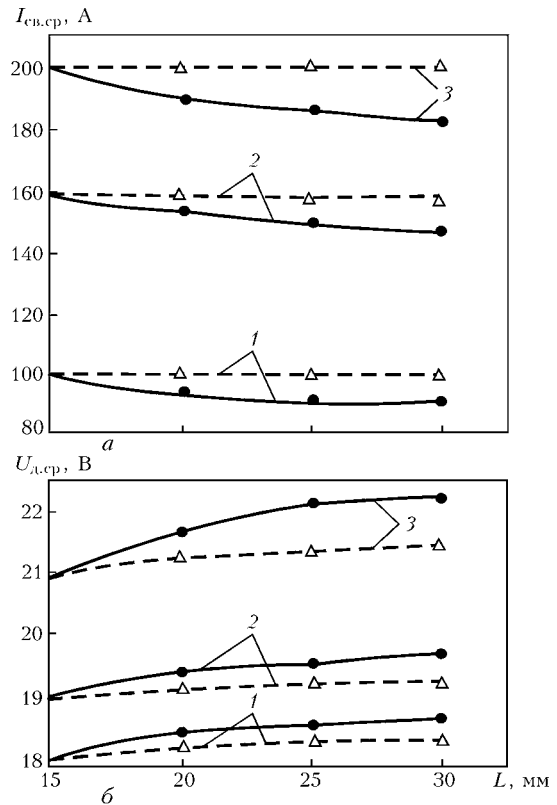


Рис. 2. Зависимость $I_{св.ср}$ (а) и $U_{д.ср}$ (б) от вылета L электродной проволоки при ИДСПЭ образца из алюминиевого сплава АМг6 проволокой СвАМг6 диаметром 1,6 мм в аргоне без САС (сплошные кривые) и с применением САС (штриховые). Иглычатые значения параметров ИДСПЭ при $L = 15$ мм: 1 — $I_{св.ср} = 100$ А, $U_{д.ср} = 18$ В; 2 — $I_{св.ср} = 160$ А, $U_{д.ср} = 19$ В; 3 — $I_{св.ср} = 200$ А, $U_{д.ср} = 21$ В

Для оценки результатов комплексного влияния возмущающих факторов — увеличения вылета и уменьшения напряжения питающей сети — на механические свойства стыковых сварных соединений сплава АМг6 и эффективность применения в условиях этих возмущений двухканальных САС способом ИДСПЭ выполняли стыковые соединения пластин из сплава АМг6М толщиной 6 мм с V-образной разделкой. Сварку осуществляли за один проход сварочной проволокой СвАМг6 диаметром 1,6 мм в аргоне (ГОСТ 10157-79) на медной подкладке с формирующей канавкой. Угол разделки

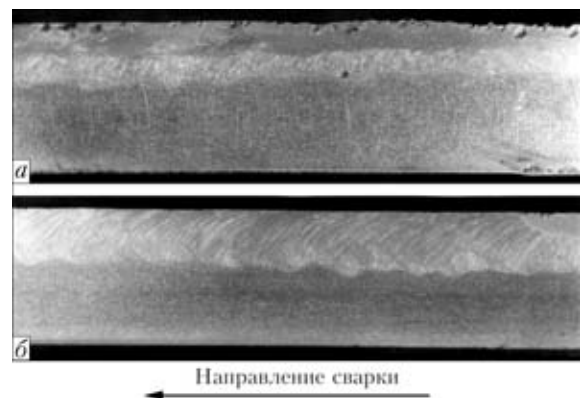


Рис. 3. Макрошлифы металла швов (продольный разрез), выполненных на пластине из сплава АМг6 способом ИДСПЭ проволокой СвАМг6 диаметром 1,6 мм в аргоне при $L = 15...30$ мм без САС (а) и с использованием двухканальной САС (б)



Таблица 1. Режимы ИДСПЭ стыкового соединения сплава АМг6М

№ режима	Напряжение сети, В	Вылет электродной проволоки L , мм	Напряжение на дуге $U_{д.ср}$, В	Сварочный ток $I_{св.ср}$, А	Частота импульсов f , Гц	Скорость подачи проволоки $v_{под}$, м/ч
1	376...400	14	21,4...21,8	190...195	117	372
2 (без САС)	342...354	24	18,5...19,5	170...176	117	372
3 (с САС)	342...354	24	21,4...21,6	190...191	Регулируется в пределах 140...156	Регулируется в пределах 355...372

Примечание. Постоянные следующие параметры: скорость сварки — 32 м/ч; длительность импульсов тока — 2,1 мс; их амплитуда — 525 А.

Таблица 2. Механические свойства стыковых сварных соединений алюминиевого сплава АМг6М

№ режима	σ_b , МПа	α , град	KCV , Дж/см ²
1	$\frac{318,0...328,0}{324,2}$	$\frac{40,0...52,0}{47,6}$	$\frac{18,0...20,7}{19,7}$
2	$\frac{190,0...220,0}{209,5}$	$\frac{13,0...55,0}{33,0}$	$\frac{13,3...14,6}{13,7}$
3	$\frac{308,3...332,3}{317,0}$	$\frac{25,0...48,0}{39,6}$	$\frac{19,2...20,6}{19,8}$

Примечание. Приведены данные испытаний 3...5 образцов.

кромки составлял 60°, притупление кромок — 1,5 мм (без зазора). В табл. 1 приведены параметры режимов ИДСПЭ.

Режим № 1 осуществляли на оптимальных для пластин толщиной 6 мм из сплава АМг6М пара-

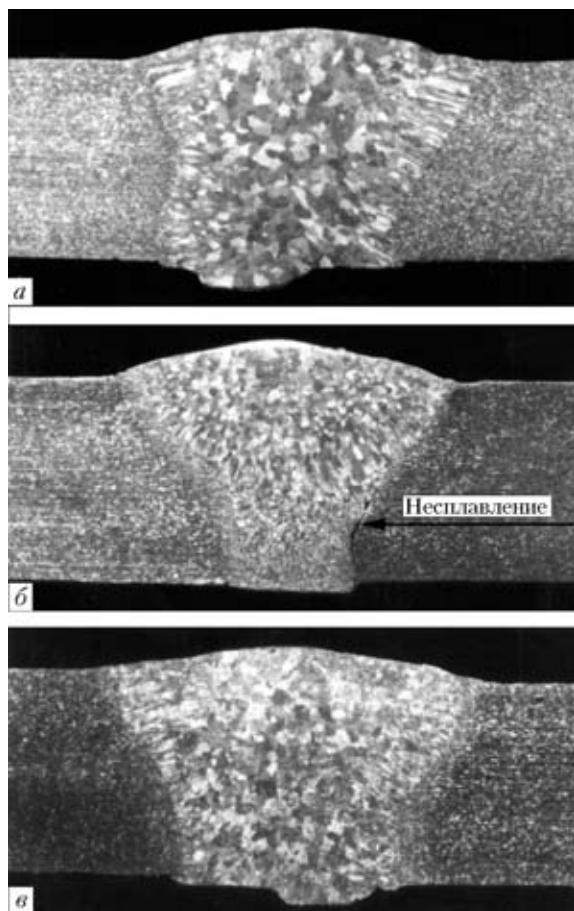


Рис. 4. Макрошлифы стыковых сварных соединений пластин из сплава АМг6М толщиной 6 мм, полученных ИДСПЭ: а — режим без возмущений; б — с возмущениями по вылету электродной проволоки и напряжению питающей сети без САС; в — с применением САС в условиях действия возмущений

метрах без действия возмущающих факторов; режим № 2 (без САС) выполняли при действии возмущающих факторов — увеличение вылета электродной проволоки и понижение напряжения питающей сети. Это привело к изменению значений $I_{св.ср}$ со 190 до 170 А и $U_{д.ср}$ — с 21,4 до 18,5 В. Режим № 3 осуществляли при тех же возмущениях, что и режим № 2, но с применением САС, в которой начальные значения значений $I_{св.ср}$ и $U_{д.ср}$ были такими же, как и при режиме № 1. Результаты механических испытаний образцов на растяжение, загиб и ударную вязкость, которые проводили в соответствии с ГОСТ 6996–66, представлены в табл. 2.

Установлено, что по сравнению с оптимальным режимом увеличение вылета электродной проволоки и снижение напряжения питающей сети приводят к уменьшению временного сопротивления разрыву σ_b на 35,7 %, угла загиба α — на 30,6 % и ударной вязкости KCV — на 30,5 %. На рис. 4 представлены макрошлифы стыковых сварных соединений, выполненных на режимах, приведенных в табл. 1. Действие указанных выше возмущающих факторов привело к возникновению различных дефектов, например несплавлений с боковой стенкой, непроваров (рис. 4, б), и ухудшило механические свойства сварных соединений.

Использование двухканальной САС процесса ИДСПЭ при действии указанных возмущений позволило устранить дефекты типа непроваров и несплавлений. При этом механические свойства сварных соединений находятся на уровне свойств, полученных при режимах без возмущений (см. табл. 2 и рис. 4, а, в).

Выводы

1. При ИДСПЭ алюминиевого сплава АМг6 увеличение вылета электродной проволоки или уменьшения напряжения питающей сети приводят к изменению $U_{д.ср}$ и $I_{св.ср}$ и возникновению дефектов типа пор, непроваров, несплавлений, а также формированию структурной неоднородности в виде центрального кристаллита. Наличие возмущающих факторов снижает на 30...35 % механические свойства стыковых соединений, полученных способом ИДСПЭ.

2. Применение двухканальной САС процесса ИДСПЭ алюминиевого сплава АМг6М позволяет при комплексном действии возмущающих факторов обеспечить механические свойства сварных соединений на уровне свойств, полученных при оптимальных режимах сварки без возмущений.



1. *Влияние* режимов импульсно-дуговой сварки алюминия АДО на форму и пористость швов // В. С. Машин, В. М. Павшук, И. В. Довбищенко и др. // Автомат. сварка. — 1991. — № 4. — С. 57–60.
2. *Ghosh P. K., Gupta S.R., Gupta P. C., Rathi R.* Influence of pulsed current welding on the microstructure and porosity content of Al–Zn–Mg alloy weldment // Pract. Metallogr. — 1990. — № 12. — P. 613–626.
3. *Ghosh P. K.* An analysis of weld characteristics as a function of pulse current MIG welding parameters // Intern. J. for the Joining of Materials. — 1996. — 8, № 4. — P. 157–161.
4. *Сварка* конструкций летательных аппаратов из алюминиевых сплавов больших толщин / О. Н. Кудряшов, О. М. Новиков, И. В. Алексеев и др. // Свароч. пр-во. — 2001. — № 12. — С. 31–33.
5. *Стабилизация* процесса импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом / Б. Е. Патон, П. П. Шейко, А. М. Жерносеков и др. // Автомат. сварка. — 2003. — № 8. — С. 3–6.
6. *Шейко П. П., Жерносеков А. М., Шимановский Ю. О.* Импульсно-дуговая сварка плавящимся электродом с автоматической стабилизацией параметров режимов // Там же. — 2004. — № 1. — С. 8–11.
7. *А. с. 1682076 СССР, МКП В 23 К 9/09.* Источник тока для импульсно-дуговой сварки / В. М. Павшук, П. П. Шейко. — Оpubл. 07.10.91; Бюл. № 37.
8. *Импульсно-дуговая* сварка низколегированных сталей плавящимся электродом в смеси аргона с углекислым газом / С. Т. Римский, В. Г. Свечинский, П. П. Шейко и др. // Автомат. сварка. — 1993. — № 2. — С. 38–41.
9. *Mandal A., Parmar R. S.* Effects of pulse parameters on weld bead geometry // Joining of Materials. — 1996. — 8, № 2. — P. 69–75.

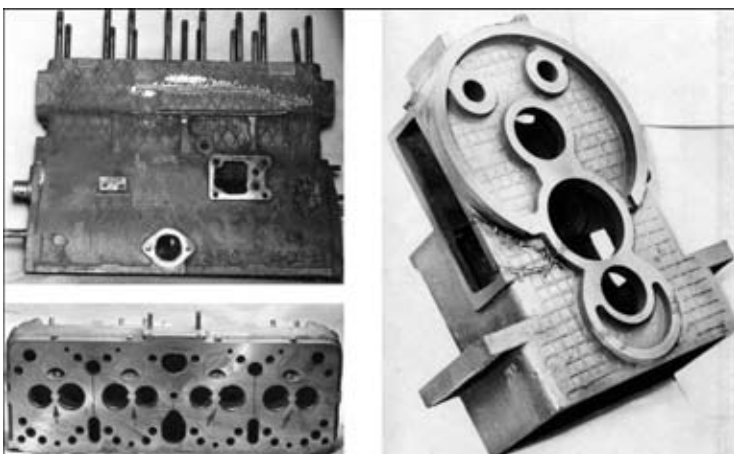
The effectiveness of application of two-dimensional systems of automatic stabilization of the process of consumable-electrode pulsed-arc welding of aluminium alloys under the effect of disturbing factors has been established experimentally. It is shown that the mechanical properties of butt welded joints of AMg6 alloy deteriorate with increase of electrode wire extension and lowering of the mains voltage. Use of two-dimensional systems of automatic stabilization allows ensuring the mechanical properties of butt welded joints on the level of properties achieved in welding in optimum modes without disturbances.

Поступила в редакцию 28.12.2004

МЕХАНИЗИРОВАННАЯ СВАРКА ЧУГУНА САМОЗАЩИТНОЙ ПРОВОЛОКОЙ СПЛОШНОГО СЕЧЕНИЯ БЕЗ ПОДОГРЕВА И ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Основные особенности нового способа сварки конструкционных чугунов заключаются в следующем:

- *используется тонкая проволока сплошного сечения марки ПАНЧ-11 из специального сплава на никелевой основе;*
- *механизированная сварка выполняется открытой дугой;*
- *швы на тонкостенных деталях выполняются с очень низким тепловложением по сравнению с ручной сваркой штучными электродами;*
- *исключены высокий подогрев детали и последующая термическая обработка.*



Металл шва представляет собой пластичный железоникелевый сплав с пределом прочности до 450 МПа и твердостью HV 170...190. Прочность соединений в целом определяется качеством свариваемого чугуна: разрыв образцов при испытании происходит по основному металлу.

Основное назначение. *Ремонт деталей из качественных чугунов, имеющих временное сопротивление разрыву до 500 МПа, с гарантией высокой прочности, герметичности и обрабатываемости сварных соединений.*

Массовый ремонт тонкостенных корпусных деталей машин и механизмов ответственного назначения.

Контакты: 03680, Украина, Киев-150, ул. Боженко, 11
 Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, отд. № 18
 Тел./факс: (39044) 287 31 84
 E-mail: maksimov@paton.kiev.ua