

15. Rutan, S. Modern Siege Weapons: Mechanics of the Trebuchet [Electronic resource] / S. Rutan, B. Wiczorek. – 2005. – Available at: <https://mse.redwoods.edu/darnold/math55/DEProj/sp05/bshawn/TrebuchetMotionPDF.pdf>

16. Johnson, B. Trebuchet parametric design optimization [Electronic resource] / B. Johnson. – 2016. – Available at: <https://www.slideshare.net/BenjaminJohnson81/me-644-trebuchet-parametric-design-optimization>

Дата надходження рукопису 30.10.2017

Куценко Леонід Миколайович, доктор технічних наук, професор, кафедра інженерної та аварійно-рятувальної техніки, Національний університет цивільного захисту України, вул. Чернишевська, 94, м. Харків, Україна, 61023
E-mail: leokuts@i.ua

Семків Олег Михайлович, доктор технічних наук, доцент, проректор, кафедра наглядово-профілактичної діяльності, Національний університет цивільного захисту України, вул. Чернишевська, 94, м. Харків, Україна, 61023
E-mail: legooleg1@i.ua

Калиновський Андрій Якович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра інженерної та аварійно-рятувальної техніки, Національний університет цивільного захисту України, вул. Чернишевська, 94, м. Харків, Україна, 61023
E-mail: kalinovskiy.a@nuczu.edu.ua

Піксамов Михайло Михайлович, кандидат технічних наук, Центр інформаційних технологій, Національний університет цивільного захисту України, вул. Чернишевська, 94, м. Харків, Україна, 61023
E-mail: mpiks@nuczu.edu.ua

Сухарькова Олена Іванівна, асистент, кафедра нарисної геометрії та комп'ютерної графіки, Український державний університет залізничного транспорту, пл. Фейербаха, 7, м. Харків, Україна, 61050

УДК 621.791.

DOI: 10.15587/2313-8416.2017.118409

ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СИЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ИМПУЛЬСНОЙ ДУГИ НА ДЕФЕКТЫ В ШВЕ ПРИ СВАРКЕ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

© Б. В. Ситников, В. П. Маршуба, Н. Н. Мирошниченко, Л. В. Соловей, И. В. Асеева, С. Широков

Исследовано влияние силового воздействия импульсно-дуговой сварки неплавящимся электродом в среде инертных газов на металл шва в процессе выполнения сварных соединений из алюминиевых сплавов. В частности, рассмотрены вопросы силового влияния импульсно-дуговой сварки на дегазацию сварочной ванны и разрушение поверхностных окисных пленок в процессе сварки. Изучены механические свойства сварных соединений из алюминиевого сплава АМгб

Ключевые слова: импульсно-дуговая сварка, электрод, аргон, алюминий, сварочная ванна, пленки, воздействие дуги

1. Введение

Применение импульсно-дуговой сварки при выполнении сварных соединений алюминиевых сплавов позволяет, как известно, повысить качество их соединения и, в частности, приводит к разрушению оксидных плёнок, снижению пористости сварного шва.

Рекомендации относительно параметров процесса импульсно-дуговой сварки неплавящимся электродом в среде инертных газов алюминиевых сплавов, в частности сплава АМгб, неоднозначны. При этом используют импульсы сварочного тока различной амплитуды и формы при низкой, средней и высокой частоте. Положительное влияние импульсов объясняют главным образом динамическим воздействием дуги на сварочную ванну, вызывающим ее колебания и перемешивание [1].

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Сварные швы, соединений из сплава АМгб, выполненные в защитных газах, при наличии на поверхностях соединяемых кромок и присадочной проволоки окисные пленки, сформированных в процессе длительного атмосферного воздействия, имеют большое количество окисных включений и пор [1]. Это приводит к нарушению целостности сварного шва и образованию течей. Применение импульсно-дуговой сварки при выполнении сварных соединений из алюминиевых сплавов, позволяет повысить их качество, и в частности, приводит к разрушению оксидных плёнок, снижению пористости шва [2]. Однако рекомендации относительно параметров процесса импульсно-дуговой сварки неоднозначны.

Анализ литературных данных показал, что силовое воздействие импульсной дуги импульсно-дуговой сварки, может способствовать снижению пористости [3] и протяженности [4] оксидных включений, сварных швах выполненных на алюминиевых сплавах.

Однако рекомендации относительно параметров процесса импульсно-дуговой сварки неплавящимся электродом в среде инертных газов при соединении алюминиевых сплавов, в частности сплава АМг6, неоднозначны, что не дает возможности их использовать в реальных условиях сварочного производства.

Статистика показывает, что при импульсно-дуговой сварке пористость снижается с 50 % от общего количества встречающихся дефектов до 27%, а окисные пленки с 35 % до 18 % [5]. Поэтому, внедрение и совершенствование процесса импульсно-дуговой сварки алюминиевых сплавов является актуальным.

Определить влияние силового воздействия дуги на процессы дегазации металла сварочной ванны. Установить протяженность окисных пленок в металлах шва. Это связано, с тем, что в настоящее время не установлена связь между характером силового воздействия импульсной дуги и процессами дегазации и раздробления окисных пленок в металле сварного шва [6].

3. Цель и задачи исследований

Цель исследования – является исследование влияния силового воздействия импульсной дуги на дегазацию металла сварочной ванны и разрушение окисных пленок в сварных швах сплава АМг6.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- определение силового воздействия импульсной дуги с вольфрамовым электродом в аргоне на сварочную ванну;

- исследование особенностей влияния силового воздействия импульсной дуги на дегазацию сварочной ванны и протяженность оксидных плёнок (Al_2O_3) в сварном шве.

4. Материалы и методы исследования влияния силового воздействия импульсной дуги на процессы дегазации и разрушения окисных пленок в сварных швах сплава АМг6

4.1. Исследуемые материалы и оборудование, которое использовалось при проведении экспериментов

Автоматическую сварку образцов из сплава АМг6 толщиной 4 мм выполняли встык вольфрамовым электродом марки ЭВЛ в аргоне с присадочной проволокой Св-Амг6 диаметром 1,2 мм. Эффективность импульсного воздействия дуги оценивали по двум показателям: разрушению оксидной плёнки [4] и уменьшению количества пор в металле шва. Импульсы сварочного тока создавали с помощью тиристорных модуляторов. В качестве базового процесса рассматривали сварку от серийного источника ТИР-315Д.

Силовое воздействие импульсной дуги на металл сварочной ванны определяли по схеме приведенной на рис. 1. Схема состоит из пьезоэлектрического датчика давления, кварцевых пластин, которое через штوك жестко соединены с угольным электродом, усилителя с высоким входным сопротивле-

нием и осциллографа. При подаче импульса сварочного тока в малоамперный дуговой разряд измеряемая сила давления дуги через угольный электрод 4 и штук 6 воздействует на параллельно соединенные кварцевые.

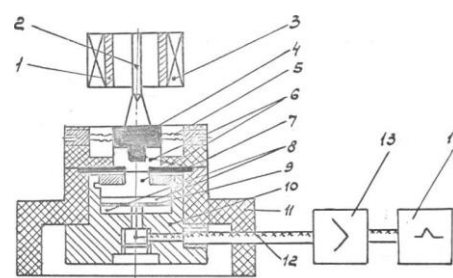


Рис. 1. Схема измерения силового воздействия импульсной дуги: 1 – сопло сварочной горелки; 2 – вольфрамовый электрод; 3 – соленоид; 4 – угольный электрод; 5 – гибкий токоподвод; 6 – штук; 7 – прокладка уплотнительная; 8 – кварцевые пластины; 9 – средняя обкладка (латунная фольга); 10 – экран; 11 – изолятор; 12 – экранированный кабель; 13 – усилитель; 14 – осциллограф

Возникающий при этом электрический сигнал снимается при помощи кабеля 12, усиливается и регистрируется осциллографом. Применение пьезокварцевого датчика для измерения силы давления дуги в переходных процессах обосновано его высокой точностью воспроизведения характера изменения силы, обеспечением минимальной погрешности в широком температурном диапазоне (вплоть до 723 К), а также его возможностями фиксировать усилия с малым временем нарастания [5].

4.2. Методика определения показателей

Для определения области допустимых значений длительности фронта импульса силы, который датчик воспроизводил бы без искажений, была экспериментально снята и построена его амплитудно-частотная характеристика (рис. 2), на основании которой можно утверждать, что эквивалентная схема применяемого датчика имеет вид: в области низких частот – рис. 3, а; в области средних частот – рис. 3, б; в области верхних частот – рис. 3, в [6].

Относительный коэффициент передачи преобразователя в области верхних частот имеет вид [6].

$$\dot{y} = \frac{1}{1 + i\omega R_1 c_1}, \quad (1)$$

где, ω – круговая частота; R_1 и c_1 – эквивалентные параметры датчика.

Для определения переходной характеристики датчика в области малых времён заменим \dot{y} на $F(S)$ и $i\omega$ на S .

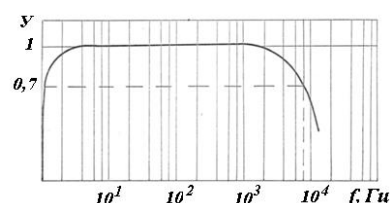


Рис. 2. Амплитудно-частотная характеристика пьезокварцевого датчика

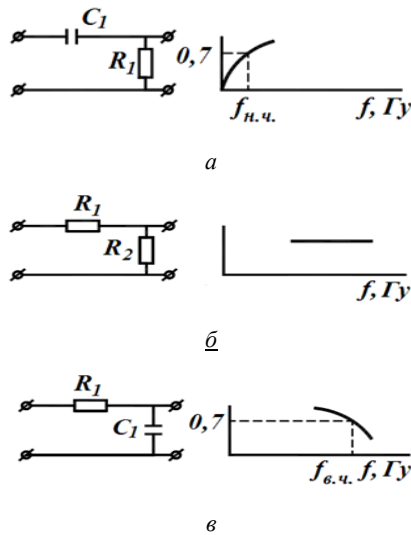


Рис. 3. Эквивалентная схема преобразователя:
 а – в области низких частот; б – в области средних частот;
 в – в области верхних частот

$$F(S) = \frac{1}{1 + S\tau_1}, \tag{2}$$

где $\tau_1 = R_1 C_1$ – постоянная времени преобразователя в области верхних частот.

Из таблиц преобразований Лапласа найден оригинал, представляющий собой нормированную переходную характеристику в области малых времён

$$\psi_1(t) = 1 - e^{-\frac{t}{\tau_1}}. \tag{3}$$

Минимально возможную длительность фронта импульса $t_{\phi.min}$ на выходе преобразователя находим как время нарастания сигнала от уровня 0,1 до уровня 0,9 своего стационарного значения. Для этого из выражения (3) находим значения параметра t_1 , соответствующего значениям нормированной переходной характеристики, численно равным вышеуказанным величинам. t_1 соответствует значению $\psi_1 = 0,1$ и t_2 значению $\psi_1 = 0,9$. Таким образом:

$$t_{\phi.min} = t_2 - t_1 = \tau_1 \ln 9 = 2,2 \tau_1. \tag{4}$$

Для определения $t_{\phi.min}$ необходимо знать постоянную времени τ_1 , которая находится из амплитудно-частотной характеристики преобразователя [7].

Аналитическое выражение, представляющее эту зависимость в области верхних частот, согласно [5], имеет вид:

$$y = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega\tau_1)^2}}. \tag{5}$$

Подставляя в это выражение значение относительного коэффициента передачи, соответствующего верхней граничной частоте $y_{B.G.} = \frac{1}{\sqrt{2}}$. Получим:

$$\tau_1 = \frac{1}{\omega_{B.G.}}. \tag{6}$$

где $\omega_{B.G.}$ – верхняя граничная частота, соответствующая значению $y = \frac{1}{\sqrt{2}}$.

Используя зависимость (6), можно несколько изменить выражение (4), которое позволит использовать экспериментально снятую амплитудно-частотную характеристику преобразователя:

$$t_{\phi.min} = \frac{\ln 9}{2\pi f_{B.G.}}. \tag{7}$$

Подставляя численные значения в (7), получим:

$$t_{\phi.min} = \frac{2,2}{6,28 \times 8,0 \times 10^3} = 4,4 \times 10^{-5}.$$

Относительный коэффициент передачи в области нижних частот имеет вид [5]:

$$\dot{y} = \frac{1}{1 + \frac{1}{i\omega R_1 C_1}} = \frac{1}{1 + \frac{1}{i\omega\tau_2}} = \frac{i\omega}{i\omega + \frac{1}{\tau_2}}. \tag{8}$$

Модуль относительного коэффициента передачи, согласно [8], равен:

$$\dot{y} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{1}{\omega\tau_2}\right)^2}}. \tag{9}$$

Зная, что на низшей граничной частоте

$$y = \frac{1}{\sqrt{2}},$$

имеем:

$$\tau_2 = \frac{1}{2\pi f_{H.G.}}. \tag{10}$$

Согласно обратному преобразованию Лапласа, нормированную переходную характеристику в области больших времен можно представить:

$$\psi_2(t) = e^{-\frac{t}{\tau_2}}. \tag{11}$$

Отсюда определяем уменьшение выходной величины при неизменной входной:

$$\Delta = 1 - \psi_2(t) = 1 - e^{-\frac{t}{\tau_2}}. \tag{12}$$

Допуская $\Delta \ll 1$, что $e^{-\frac{t}{\tau_2}}$ разлагаем в ряд Тейлора и подставляем первые два члена в выражение (12), имеем:

$$\Delta = \frac{t}{\tau_2} \tag{13}$$

Используя выражение (10), получим:

$$\Delta = 2\pi f_{II,Г} \times t_u \tag{14}$$

Следовательно, максимальная длительность постоянного силового воздействия дуги при $\Delta = 0,1$ не должно превышать 0,2 с.

Динамическая градуировка датчика, осуществлялась пневматическим задатчиком давления по методике, приведенной в работе [9].

На рис. 4 представлены кривые показания датчика при различной крутизне фронта нарастания тока дуги. Чем больше крутизна фронта нарастания, тем круче фронт нарастания силы давления дуги и выше пик показаний датчика. Максимум показаний датчика приходит на момент достижения тока дуги 210 А. Далее сила давления дуги падает по закону, близкому к экспоненциальному, до значения силы давления дуги, соответствующему току дуги 250 А в установленном режиме.

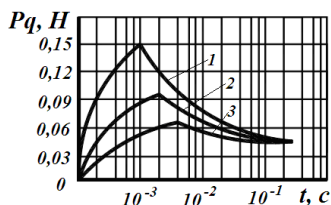


Рис. 4. Зависимость силы давления дуги от времени при различных значениях крутизны нарастания тока импульса: 1 – $2,5 \times 10^5 \text{ Ас}^{-1}$; 2 – $1,2 \times 10^5 \text{ Ас}^{-1}$; 3 – $0,6 \times 10^5 \text{ Ас}^{-1}$

Проведенный анализ процессов [10], проходящих при импульсном разряде, показал, что вследствие большого начального давления в столбе дуги имеет место расширение плазменного жгута с одновременным ускорением потоков плазмы вдоль электродов под действием магнитного давления. Поэтому наиболее вероятной причиной значительного повышения силы дуги в начальный период развития импульсно-дугового разряда по сравнению со стационарным рядом является отставание скорости увеличения площади активных пятен от скорости нарастания тока импульса. Через некоторое время, зависящее от теплофизических свойств материала электродов, активные пятна достигают необходимых размеров, столб дуги принимает обычную конусообразную форму, в результате чего происходит падение давления.

Для оценки силового воздействия дуги с различной крутизной нарастания тока импульса на пористость, наличие и протяженность окисных пленок в сварных швах были сварены плоские образцы толщиной 4 мм на под площадке из нержавеющей стали с проплавно-изолирующей канавкой овальной формы глубиной 1,2 мм. Результаты проведенных экспериментов приведены, соответственно на рис. 5, 6.

Как видно из приведенных зависимостей процессы дегазации металла шва в значительной степени зависят от нарастания значений тока импульса. При токе импульса 250 А средний объем пустот с увеличением

крутизны нарастания ток импульса с $0,5 \times 10^5 \text{ Ас}^{-1}$ до $2,5 \times 10^5 \text{ Ас}^{-1}$ уменьшается с 0,37 до 0,12 %, что близко к их содержанию в основном металле.

Можно предположить, что более интенсивное перемешивание сварочной ванны с увеличением крутизны тока импульса способствует раздроблению и выносу окисных пленок на поверхность, где они разрушаются катодным распылением.

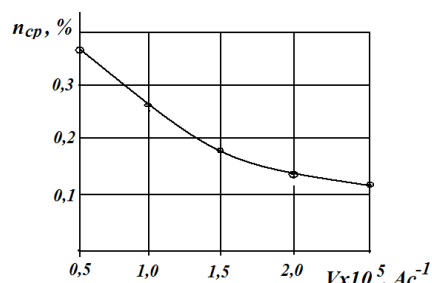


Рис. 5. Зависимость среднего объема пустот в металле шва от крутизны нарастания импульса тока

Об этом свидетельствуют результаты замеров количества и протяженности (на 1 м шва) окисных пленок, обнаруженных в металле сварных швов (рис. 6).

Сокращение количества и протяженности окисных включений и пористости в сварных швах сплава АМг-6 в результате увеличения силового воздействия импульсной дуги на сварочную ванну привело к повышению прочности сварных соединений. Среднее значение предела прочности соединений увеличилось с 28,1 до 30,5 кгс/мм², разброс значений прочности при этом сократился с 9,1 до 4,9 кгс/мм².

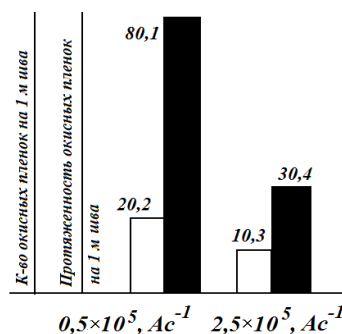


Рис. 6. Влияние крутизны нарастания тока импульса на количество и протяженность окисных пленок в шве

6. Выводы

1. В изменении силы давления импульсной дуги имеет место явно выраженный максимум, величина которого тем выше, чем выше величина перепада токов и скорость изменения тока дуги.

2. Появление пика в изменении силы давления дуги следует отнести к разной тепловой инерции в столбе дуги и при электродных областях дуги.

3. При сварке сплава АМг6 вольфрамовым электродом в аргоне увеличение силового воздействия импульсной дуги на ванну способствует снижению пористости, количества и протяженности окисных включений в металле шва и, как следствие, повышению прочности сварных соединений.

Литература

1. Скачков, Ю. Н. Причины появления окисных плен в сварных швах сплава АМгб [Текст] / Ю. Н. Скачков, О. М. Новиков, М. Д. Мамон // Сварочное производство. – 1973. – № 4. – С. 27–29.
2. Хейфец, А. Л. Влияние параметров импульсов тока на разрушение окисных пленок и дегазации ванны при сварке тонкостенных конструкций из сплава АМгб [Текст] / А. Л. Хейфец, И. М. Гольдфарт // Автоматическая сварка. – 1991. – № 11. – С. 33–36.
3. Ищенко, А. Я. Предотвращение включений оксидной пленки в швах при аргонодуговой сварке алюминиевых сплавов [Текст] / А. Я. Ищенко, А. Г. Покляцкий, М. П. Яворская // Автоматическая сварка. – 1989. – № 6. – С. 38–41.
4. Мауро, Х. Формирование валика сварного шва при импульсной дуговой сварке неплавящимся электродом в инертных газах [Текст] / Х. Мауро, Е. Хирата // Quarterly journal of the japan welding society. – 1985. – Т. 3, № 2. – С. 17–24.
5. Рязанцев, В. И. Особенности кристаллизации сварочной ванны при сварке с наложением на дугу кратковременных импульсов тока [Текст] / В. И. Рязанцев, Г. А. Славин, Н. М. Трохинская и др. // Сварочное производство. – 1988. – № 4. – С. 39–41.
6. Новицкий, П. В. Электротехнические измерения неэлектрических величин [Текст] / П. В. Новицкий. – Л.: Энергия, 1975. – 576 с.
7. Мамонкин, И. Г. Усилительные устройства [Текст] / И. Г. Мамонкин. – М.: Связь, 1966. – 400 с.
8. Цыкин, Г. С. Электронные усилители [Текст] / Г. С. Цыкин. – М.: Связь, 1986. – 510 с.
9. Бойков, Н. А. Измерение давлений при быстропротекающих процессах [Текст] / Н. А. Бойков, П. С. Звездин, Л. Б. Резник. – М.: Энергия, 1970. – 64 с.
10. Колесников, П. Н. Электродинамическое ускорение плазмы [Текст] / П. Н. Колесников. – М.: Атом-издат, 1971. – 372 с.

*Рекомендовано до публікації д-р техн. наук Дмитрик В. В.
Дата надходження рукопису 30.10.2017*

Ситников Борис Валентинович, кандидат технических наук, доцент, кафедра сварки, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», ул. Кирпичева, 2, г. Харьков, Украина, 61002
E-mail: sitnikovboris@ outlook.com

Маршуба Вячеслав Павлович, кандидат технических наук, доцент, кафедра сварки, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», ул. Кирпичева, 2, г. Харьков, Украина, 61002
E-mail: marshuba_vp@ outlook.com

Мирошниченко Наталья Николаевна, кандидат технических наук, доцент, кафедра интегрированных технологий, процессов и аппаратов, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», ул. Кирпичева, 2, г. Харьков, Украина, 61002
E-mail: d_tasha@ukr.net

Соловей Людмила Валентиновна, старший преподаватель, кафедра интегрированных технологий, процессов и аппаратов, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», ул. Кирпичева, 2, г. Харьков, Украина, 61002
E-mail: ludsol@ukr.net

Асеева Ирина Владимировна, ассистент, кафедра общей и неорганической химии, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», ул. Кирпичева, 2, г. Харьков, Украина, 61002
E-mail: iren_asya@ukr.net

Широков Стефан, кафедра интегрированных технологий, процессов и аппаратов, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», ул. Кирпичева, 2, г. Харьков, Украина, 61002
E-mail: fan.gogle@gmail.com