

Электронно-лучевая сварка с применением присадочных материалов

И.В. Ситников, Е.С. Саломатова

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
г. Пермь, Россия*

Аннотация. Целью данной работы является выявление особенностей электронно-лучевой сварки с применением присадочных материалов, возможность применения данного способа в машиностроении.

Использование ЭЛС с присадочными материалами дает преимущество перед обычной ЭЛС. С помощью присадочного материала можно воздействовать на металлургию и химический состав сварного соединения, влиять на механические и технологические свойства металла шва, сваривать друг с другом не свариваемые материалы. ЭЛС с использованием присадочных материалов улучшает формирование и высоту шва, модифицирует микроструктуру, улучшает сопротивление появлению горячих и холодных трещин, увеличивает прочность и пластичность сварных соединений.

Ключевые слова: электронно-лучевая сварка, присадочный материал, разнородные материалы.

Электронно-лучевая сварка (ЭЛС) используется в различных областях промышленности. Область применения от полностью автоматизированного, высокопроизводительного и дешевого конвейерного производства деталей до штучных дорогих двигателей авиапромышленности. Для этих областей производств, и многих других, не упомянутых здесь, сварочные процессы должны соответствовать более жестким требованиям, которые становятся с годами все более распространенными. В связи с этим, ЭЛС идеально подходит для отраслей с требованием высокого качества сварных швов и хорошего внешнего вида, что обусловлено возможностью адаптации к специфическим сварочным работам и производственному окружению [1-3].

ЭЛС относится к высококонцентрированным способам сварки. Плотность вводимой энергии может достигать 10^9 Вт/см². Близкими по концентрации энергии в зоне нагрева являются плазменная сварка и лазерная сварка.

ЭЛС обладает рядом преимуществ перед другими видами сварки. Среди них – защита сварочной ванны от атмосферы вследствие проведения процесса в вакууме (10^{-2} Па), глубокие, и узкие швы, минимальная зона термического влияния и другие. Поэтому ЭЛС обычно применяется при сварке особо ответственных и высоконагруженных узлов и деталей конструкций [4].

В данной работе рассматривается ЭЛС с применением присадочных материалов, которые можно применять для металлургического влияния на зону сплавления или при наличии зазора между свариваемыми деталями.

Существует ряд основных преимуществ ЭЛС с присадочными материалами:

- возможность влиять на механические и технологические свойства сварных соединений, такие как прочность, твердость, износостойкость, управлять металлургическими процессами и химическим составом сварного шва;

- возможность сваривания между собой различных несвариваемых материалов;

- возможность сваривать детали при наличии зазора между их кромками;

Основным преимуществом применения присадочных материалов при ЭЛС алюминиевых сплавов является снижение дефектов в виде трещин, пор.

Целью исследовательской работы было повышение качества сварных соединений из алюминиевых сплавов толщиной до 60 мм с помощью применения присадочных материалов, снижение образования трещин, твердости, потерь прочности, газоплотности, определение влияния присадочных проволок в зависимости от положения шва, геометрии соединения, степени колебаний на состав легирования шва. Получены положительные результаты при сварке сплава 5083 толщиной 50 мм с присадочной проволокой при скорости сварки 3,5 мм/с, мощности излучения 9 кВт (рис. 1) [5].



Рисунок 1 - Макроструктура сварного алюминиевого сплава 5083, выполненного ЭЛС с присадочной проволокой. Толщина 50 мм.

ЭЛС с применением присадочных материалов предусматривает подачу присадочной проволоки во внешнюю или корневую зону плавления. Целью применения является улучшение качества формирования шва, регулирование химического состава шва, уменьшение степени легирования корневого шва. Может применяться как однолучевая, так и двухлучевая сварка (рис. 2-4).

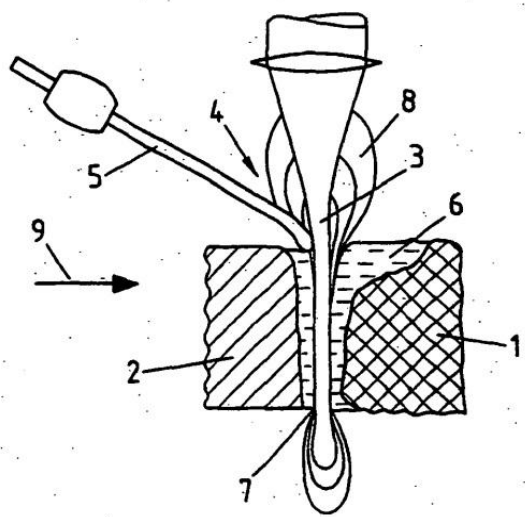


Рисунок 2 - Схема ЭЛС с присадочной проволокой: 1 – сварной шов; 2 – зона соединения; 3 – луч; 4 – зона процесса; 5 – присадочная проволока; 6 – зона плавления; 7 – полость; 8 – плазма, 9 – направление движения деталей.

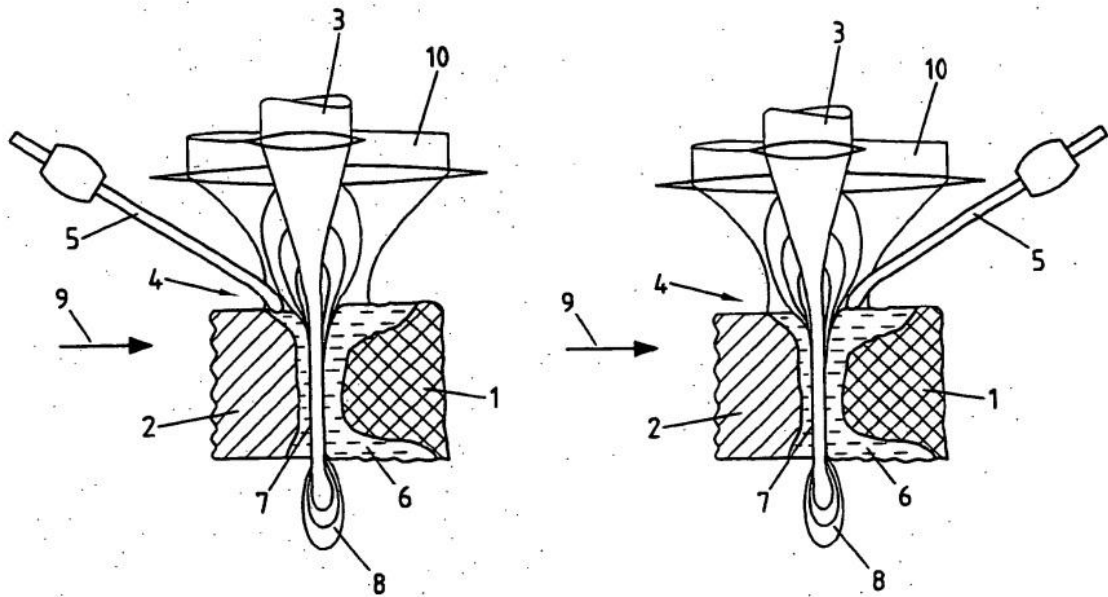


Рисунок 3 - Схема двухлучевой ЭЛС с введением присадочной проволоки: 1 – сварной шов; 2 – зона соединения; 3 – луч; 4 – зона процесса; 5 – присадочная проволока; 6 – зона плавления; 7 – полость – паровой капилляр; 8 – плазма, 9 – направление движения деталей; 10 – дополнительный луч.

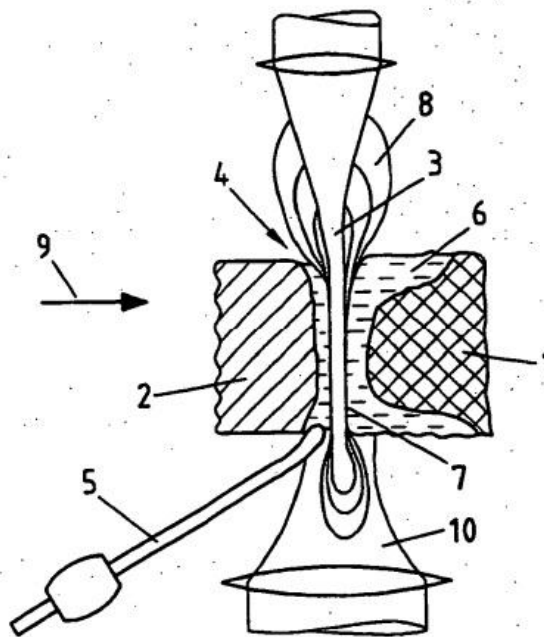


Рисунок 4 - Схема ЭЛС с введением присадочной проволоки в корневую зону:
 1 – сварной шов; 2 – зона соединения; 3 – луч; 4 – зона процесса; 5 – присадочная проволока; 6 – зона плавления; 7 – полость – паровой капилляр; 8 – плазма; 9 – направление движения деталей; 10 – дополнительный луч.

Указанный способ ЭЛС с введением присадочной проволоки в корневую зону позволяет уменьшать степень легирования и количество дефектов в корне шва [6].

Основным недостатком ЭЛС с применением присадочных материалов является возможность образования непроваров за счет экранирования электронного луча присадочной проволокой, подаваемой непосредственно под электронный луч. При быстрой подаче проволоки и малом диаметре фокального пятна луча, проволока не успевает полностью расплавиться и перейти в сварочную ванну. А увеличение фокального пятна приводит к увеличению погонной энергии, мощности, что увеличивает зону термического влияния.

Для получения сварных соединений высокого качества из металлов толщиной более 50 мм существует способ ЭСЛ, такой как многослойная сварка в узкий зазор. Такую сварку металлов производят в узкий зазор шириной 2 - 8 мм с подачей присадочной проволоки в сварочную ванну для каждого слоя (рис. 5).

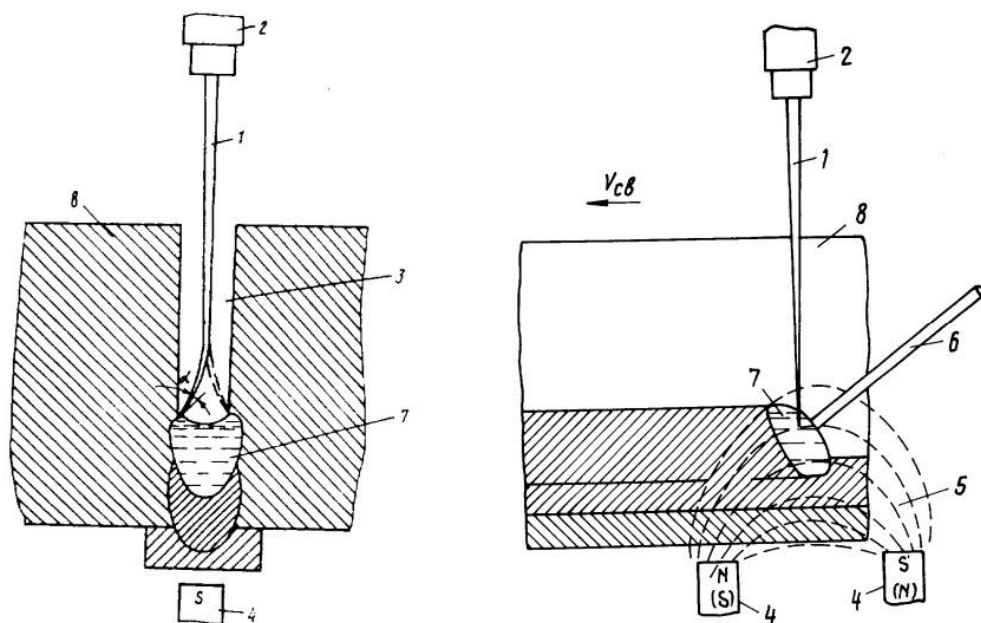


Рисунок 5 - Схема способа многослойной ЭЛС с присадочной проволокой: 1 – луч; 2 – излучатель; 3 – зазор; 4 – магнитная система; 5 – линии поля; 6 – присадочная проволока; 7 – сварочная ванна.

Осуществляют периодические поперечные колебания электронного пучка относительно нейтрального положения с частотой 1 - 1000 Гц только в пределах узкого зазора. Обеспечивают взаимодействие пучка с боковыми стенками зазора. Для этого в зазоре формируют переменное магнитное поле 0,5 - 25 мТл, а электронный излучатель располагают вне этого поля [7].

Также существует способ ЭЛС с применением зазора между свариваемыми кромками деталей, в который подают присадочный материал (рис. 6).

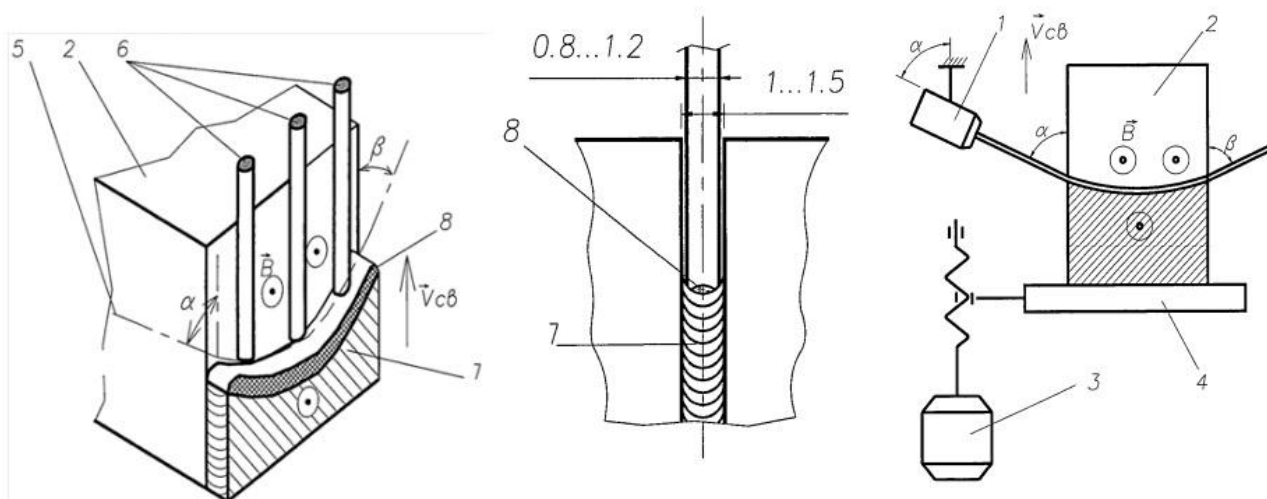


Рисунок 6 - Сущность способа ЭЛС с присадочной проволокой: 1 – излучатель; 2 – свариваемые детали; 3,4 – механизм перемещения; 6 – присадочная проволока; 7 – сварной шов; 8 – сварочная ванна.

Оплавляют кромки и присадочный материал электронным лучом и формируют общую сварочную ванну. Ширину зазора выбирают из условия $1,1d \leq h \leq 1,2d$, где h - ширина зазора, d - диаметр присадочного материала. Электронно-лучевую пушку устанавливают под углом α к лицевой плоскости свариваемых деталей, выбранным из условия $0^\circ < \alpha < 90^\circ$, и отклоняют его по толщине детали снизу вверх на острый угол выхода луча β относительно задней плоскости свариваемых деталей 2, при этом свариваемые детали 2 устанавливают с узким зазором величиной h . Электронный луч от электронной пушки направляют в узкий зазор свариваемых деталей, причем электроны имеют криволинейную траекторию по всей толщине свариваемых деталей. Затем перемещают свариваемые детали со скоростью $V_{св}$, посредством механизма перемещения, подают в зазор свариваемых деталей присадочный материал, например проволоку, диаметром d и проводят сварку. В результате расплавления присадочного материала и кромок свариваемых деталей образуется общая сварочная ванна, содержащаяся в криволинейном канале проплавления, которая затем кристаллизуется и формируется сварной шов [8].

В настоящее время часто используют ЭЛС разнородных сталей и сплавов, материалов, сварка которых друг с другом невозможна из-за образования интерметаллидных включений. Например сварка стали с алюминиевыми сплавами на воздухе является актуальной для автомобилестроения и возможна при толщине до 2 мм с применением присадочной проволоки (рис. 7) [9].

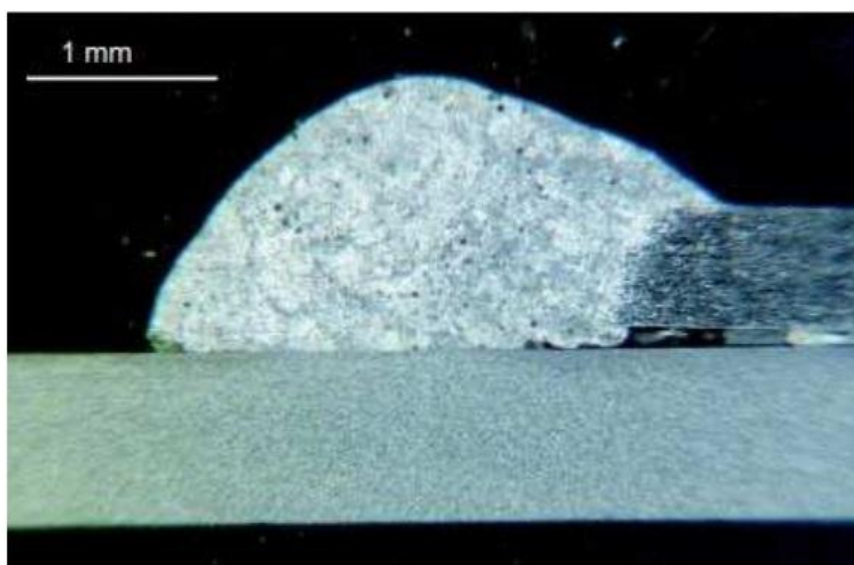


Рисунок 7 - Макроструктура сварного соединения алюминиевого сплава AW-6016 и стали DP 600 (Z 140), выполненного ЭЛС в атмосфере. Присадочная проволока AlSi12.

Таким образом, использование ЭЛС с присадочными материалами дает преимущество перед обычной ЭЛС. С помощью присадочного материала можно воздействовать на металлургию и химический состав сварного соединения, влиять на механические и технологические свойства металла шва, сваривать друг с другом не свариваемые материалы. ЭЛС с использованием присадочных материалов улучшает формирование и высоту шва, модифицирует микроструктуру, улучшает сопротивление появлению горячих и холодных трещин, увеличивает прочность и пластичность сварных соединений. Также за счет применения присадочных материалов увеличивается производительность процесса сварки, что является важным фактором в производстве и машиностроении.

Список литературы

1. Schubert G. Electron beam welding- Process, applications and equipment// Welding in the World. – 2009. – 53 special issue. – P. 283 – 288.
2. Беленький В.Я., Кротов Л.Н., Ольшанская Т.В., Абдуллин А.А., Младенов Г.М., Колева Е.Г., Быков С.И. Электронно - лучевая сварка высокопрочных сталей с бронзой с использованием динамического позиционирования электронного пучка. // Сварка и диагностика. – 2014. – № 1. С. 48 – 49.
3. Технология сборки и испытаний космических аппаратов: Учебник для высших технических учебных заведений Беляков И.Т., Зернов И.А., Антонов Е.Г. и др.; Под общ. Ред. Белякова И.Т. и Зернова И.А. – Машиностроение, 1990, 325 с.
4. Основы технологии электронно – лучевой и диффузионной сварки: Учебное издание Глазов С.И., Люшинский А.В., Магнитов В.С., Обознов В.В., Чуклинов С.В.; Под общей научной редакцией Сироткина О.С. и Чуклинова С.В. – 2001, 288 с.
5. U.Reisgen Redizierung von Imperfektionen beim Elektronenstrahlschweissen mit Zusatzwerkstoff von Dickblechen aus Aluminiumlegierungen/ IGF-Nr.17.350 N/DVS-Nr.06.079 – Zwischenbericht zum 01/03/2012. Aachen. RWT.
6. C. Maier, T. Wehner «Verfahren und Vorrichtung zum Tiefschweissmode-Strahlschweissen mit Hilfe mindestens eines Warmenstrahls und eines Zusatzwerkstoffes». EP1350590B1. 04.04.2002
7. Замков В.Н., Шевелев А.Д. Радченко Л. М., А.С. № 1530381 Способ многослойной электронно-лучевой сварки в узкий зазор. От 16.11.1987.
8. Драгунов В.К., Слива А. П., Парфенов В.А. Патент Р.Ф. № 2448822 Способ сварки электронным лучом. От 30.11.2010.
9. Dipl.-Ing. F. Höcker Elektronenstrahlschweißen an Atmosphäre. aylored Hybrid Blanks aus Stahl und Aluminiumlegierungen. Aachen. ISF. 2004.