



ОСОБЕННОСТИ СВАРКИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ НА ПОСТОЯННОМ ТОКЕ ПРИ ПРЯМОЙ ПОЛЯРНОСТИ

В. П. БУДНИК, канд. техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Приведен обзор работ, посвященных разработке в ИЭС им. Е. О. Патона процесса сварки алюминиевых сплавов на токе при прямой полярности и внедрению его в промышленность. Установлена область его применения, перечислены возникшие при этом проблемы, показаны преимущества процесса.

Ключевые слова: дуговая сварка, алюминиевые сплавы, неплавящийся электрод, прямая полярность, оксидная пленка

Развитие ведущих отраслей промышленного производства, в частности сварочного, неразрывно связано с разработкой и внедрением новых высокоэффективных технологических процессов и оборудования. В 1960–1970-х гг. в бывшем СССР создавались новые конструкции в космической, авиационной, судостроительной и других отраслях техники с широкой областью применения алюминиевых сплавов. Началась разработка космического комплекса «Буран». Одновременно разрабатывались и успешно применялись новые высокопрочные свариваемые алюминиевые сплавы, например, ряд сплавов типа 1915, Д20, Д21, 1201 систем легирования Al–Zn–Mg и Al–Cu–Mn. Появилась необходимость выполнять сварку соединений толщиной 10...15 мм и более за один проход при минимальном тепловложении. Существующие тогда способы сварки не обеспечивали выполнение этих требований. В это время в ИЭС им. Е. О. Патона начались исследования по разработке и совершенствованию новых высокоэффективных способов сварки алюминиевых сплавов — электронно-лучевой и гелиево-дуговой сварки (ГДС) на токе при прямой полярности [1].

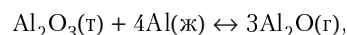
Согласно сведениям, полученным из зарубежных журналов [2, 3], способ сварки неплавящимся электродом на токах при прямой полярности в гелии являлся перспективным. Однако данные, приводимые в них, в основном носили рекламный характер. Для успешного применения ГДС в промышленности нужно было решить целый ряд теоретических и экспериментальных задач. К первоочередным относились исследование процесса разрушения оксидной пленки, изучение энергетических характеристик, разработка промышленной технологии, определение требований к специальному оборудованию и его разработка, изучение свойств соединений высокопрочных сплавов.

Работы по изучению и внедрению процесса ГДС выполнялись коллективом под руководством Д. М. Рабкина. В основной состав входили сотрудники отдела О. Н. Иванова, В. П. Будник, Б. А. Стебловский.

В ходе обсуждения возникающих вопросов Д. М. Рабкин неоднократно подчеркивал, что ре-

шение поставленных задач зависит от раскрытия и уточнения процессов, протекающих в дуге на токе при прямой полярности, в том числе влияющих на разрушение оксидной пленки алюминия. Длительное время считали, что основным процессом, способствующим разрушению оксидной пленки при сварке алюминиевых сплавов, является катодное распыление [4]. С этой точки зрения невозможно было объяснить возможность получения качественных швов при сварке на токе при прямой полярности. В работе [5] было высказано предположение о возможности протекания энергетического процесса разрушения оксидов при сварке.

В ИЭС им. Е. О. Патона была проведена серия экспериментов, позволивших получить ответ на этот вопрос [6]. В ходе масс-спектрометрических исследований в парах алюминиевых образцов были обнаружены ионные токи, соответствующие молекулам алюминия и Al_2O . Термодинамический расчет возможных химических реакций в сварочной ванне показал наиболее вероятный тип взаимодействия оксидной пленки с расплавленным алюминием:



где буквами т, ж и г обозначены соответственно твердая, жидкая и газовая фазы. Эти эксперименты позволили установить возможность протекания химической реакции в расплавленном алюминии, а также разрушения оксидов в сварочной ванне.

В результате термодинамического расчета и на основе экспериментальных данных были получены ожидаемые значения температуры равновесия этой реакции: 2300 (теоретическое) и 2130 К (при пересчете экспериментальных данных).

Таким образом, было установлено, что разрушение оксидной пленки при сварке алюминия происходит при высоких значениях температуры расплавленного металла. Поэтому вряд ли возможно развитие химической реакции во всем объеме сварочной ванны.

Исследование температурных условий в процессе сварки производили при измерениях с помощью вольфраморениевых термопар [7]. Опыты выполняли при сварке в гелии и аргоне. В случае использования гелия установлено превышение температуры по всей глубине ванны на 200...300 К по сравнению со сваркой в аргоне. Непосредственно под дугой измеренная

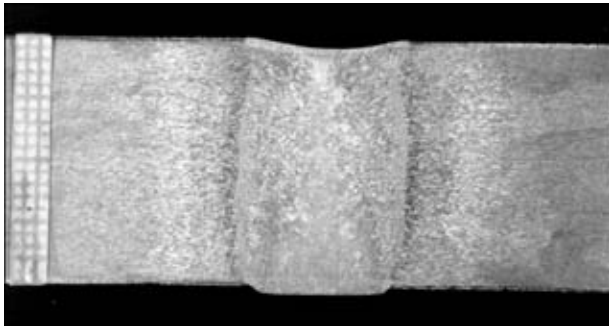


Рис. 1. Макрошлиф соединения сплава 1201 толщиной 20 мм, полученного при однопроходной ГДС ($I_{св} = 550$ А, $v_{св} = 6$ м/ч)

температура жидкого металла при сварке в гелии составляет 2000...2100 К. Очевидно, именно в приэлектродном слое разрушается основная масса оксидной пленки. Эти эксперименты позволяют объяснить и недостаточное разрушение оксидов при использовании аргона, и невозможность его применения для сварки способом ГДС.

Получить качественную поверхность швов можно при высокой концентрации энергии дуги, которая достигается при сварке в гелии. Разрушение оксидной пленки зафиксировано и при сварке в аргоне, но при дуговом промежутке, близком по длине короткому замыканию, и при существенно меньшей глубине проплавления. Сварка в гелии тоже требует небольшой длины дуги, но это требование менее жесткое, чем при использовании аргона. Данную особенность процесса, а также необходимость применения дорогостоящего гелия можно отнести к недостаткам указанного способа сварки.

Определение схемы разрушения оксида алюминия в сварочной ванне позволило изучить особенности процесса сварки на постоянном токе. Были исследованы преимущества ГДС. КПД процесса достигает 85 %, благодаря чему увеличивается глубина проплавления при меньшем токе (по сравнению с другими дуговыми способами).

Большая проплавливающая способность процесса позволяет выполнять швы металла большой толщины за один проход [8]. Можно получить соединение толщиной до 20 мм (рис. 1). Выполнить соединение деталей такой или близкой толщины способом однопроходной аргонодуговой сварки (АДС) невозможно.

Высокая концентрация тепловой энергии, большие скорости нагрева и охлаждения основного металла приводят к уменьшению зоны термического влияния (ЗТВ) соединения, находящейся под воздействием высоких температур. В результате при ГДС зона термического влияния и ширина швов

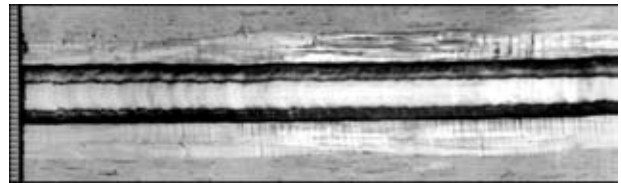


Рис. 3. Внешний вид шва при ГДС сплава 1201 толщиной 10 мм ($I_{св} = 300$ А, $v_{св} = 12$ м/ч)

меньше в 1,5...2,0 раза, чем при сварке в аргоне на переменном токе (рис. 2) [9]. Такое преимущество особенно важно при сварке термически упрочняемых высокопрочных сплавов.

Установлено, что при ГДС можно получать соединения на значительно больших скоростях, чем при АДС. Так, соединение металла толщиной 3 мм выполняли со скоростью сварки 100 м/ч без нарушения качества формирования шва.

К особенностям процесса ГДС относится и влияние высокой температуры сварочной ванны на поведение легирующих составляющих металла. Повышается испарение перегретой прослойки из прианодного пятна. Особенно это заметно при сварке алюминиевых сплавов с легирующими элементами (цинк, марганец, литий), имеющими низкую температуру кипения — 907, 1107 и 1342 °С. У алюминия этот показатель составляет 2520 °С. Такие элементы испаряются довольно интенсивно, оставляя темный налет на поверхности шва и соединения, который легко удаляется и не оказывает влияния на свойства соединений. При сварке сплавов, не содержащих элементы с низкой температурой кипения, подобный налет не образуется. Внешний вид поверхности шва, выполненного ГДС, на сплаве 1201 показан на рис. 3.

Для поддержания короткого дугового промежутка при ГДС возникла необходимость в автоматизации процесса и разработке специального оборудования. Была создана система автоматического регулирования напряжения дуги (АРНД), основанная на существующей зависимости между напряжением и длиной дуги. Одной из составляющих этой системы является сварочная горелка (типа А-1736) с подвижным электродом, разработанная в конструкторском бюро ИЭС им. Е. О. Патона. Управление горелкой для поддержания дугового промежутка с погрешностью $\pm 0,1$ мм осуществляли при помощи блока ОБ-2041.

Процесс сварки с применением системы АРНД значительно повысил стабильность формирования швов. Остальное используемое сварочное оборудование может быть серийного производства, без дополнительной доработки.

Дальнейшее развитие способа сварки алюминиевых сплавов на токе при прямой полярности идет по пути повышения уровня автоматизации при регулировании глубины проплавления соединений.

Жесткая связь между падением напряжения на дуге и дугового промежутка использована для создания процесса сварки на весу. Это позволило стабилизировать глубину проплавления, под-

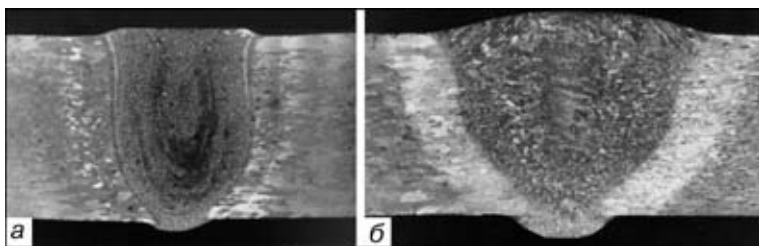


Рис. 2. Макрошлифы соединений сплава 1201 толщиной 12 мм: а — при однопроходной ГДС ($I_{св} = 430$ А, $v_{св} = 14$ м/ч); б — при АДС ($I_{св} = 600$ А, $v_{св} = 8$ м/ч)



держивая его на постоянном уровне путем автоматического варьирования тока.

Проведен ряд исследований и на основе их результатов разработан блок управления источником питания для регулирования сварочного тока. Технологические эксперименты показали возможность получения сварных соединений из алюминиевых сплавов без поддержания расплавленного металла шва подкладными элементами.

Была разработана технология ручной сварки ГДС. Невозможность автоматического регулирования дугового промежутка усложняет ведение такого процесса. Тем не менее, квалифицированный сварщик может выполнять ремонтную сварку различных соединений, особенно при большой толщине металла. При этом сохраняются все преимущества ГДС — высокая проплавливающая способность, небольшая ЗТВ, не требуется подогрев узла для увеличения проплавления.

При разработке технологии сварки алюминиевых сплавов на постоянном токе (прямая полярность) были определены требования к форме рабочего торца неплавящегося электрода, подготовке основного металла и сборке соединений. Детально изучены технологические факторы, определяющие качество швов, установлены условия, при которых достигаются оптимальные результаты при сварке.

Благодаря выполненным исследованиям установлена возможность применения способа сварки алюминиевых сплавов на токе при прямой полярности для изготовления конструкций ответственного назначения. Способ ГДС был внедрен в космической и авиационной отраслях бывшего СССР (при изготовлении баков ракеты «Энергия», узлов кабины космического самолета «Буран»), а также для ряда других конструкций ответственного назначения.

Выводы

1. К преимуществам процесса сварки алюминиевых сплавов на постоянном токе при прямой полярности относятся высокая проплавливающая способность, в

1,5...2,0 раза большая по сравнению с АДС, что дает возможность выполнять однопроходную сварку металла большой толщины; в 1,5...2,0 раза меньшее тепловложение, чем при АДС, уменьшение ЗТВ; возможность выполнять сварку на высоких скоростях.

2. Недостатки процесса заключаются в необходимости выполнять сварку на небольшой длине дугового промежутка, что требует применения автоматического управления; в необходимости тщательной подготовки металла под сварку и сборки соединений с более высокими требованиями, чем при АДС. Кроме того, использование гелия в качестве защитной среды удорожает процесс сварки.

3. Процесс ГДС целесообразно применять для сварки конструкций ответственного назначения из высокопрочных термически упрочняемых и нагартованных сплавов.

1. *Сварка* алюминиевых сплавов на постоянном токе прямой полярности / Д. М. Рабкин, О. Н. Иванова, Б. А. Стебловский, В. П. Будник // *Автомат. сварка.* — 1971. — № 3. — С. 71–72.
2. *Liptak J. A. Gas tungsten-arc welding heavy aluminiumplate* // *Welding J.* — 1965. — № 6. — P. 276–281.
3. *Welding aluminum space launch vehicles* / S. A. Agnew, N. E. Anderson, C. R. Felmley et al. // *Ibid.* — 1964. — № 11. — P. 932–936.
4. *Бродский А. Я.* Аргонодуговая сварка вольфрамовыми электродами. — М.: Машгиз, 1956. — 382 с.
5. *Юсуфова З. А., Лесков Г. И.* К вопросу о механизме разрушения окисных плен при сварке алюминиевых сплавов в среде инертных газов // *Свароч. пр-во.* — 1970. — № 7. — С. 57–58.
6. *Термическое разрушение окисной пленки при сварке алюминия* / В. П. Будник, Д. М. Рабкин, О. Д. Смиян, В. Н. Товмаченко // *Автомат. сварка.* — 1975. — № 10. — С. 74–75.
7. *Будник В. П.* Влияние вида инертного газа на температуру ванны и разрушение оксидной пленки при сварке алюминия // *Автомат. сварка.* — 1994. — № 12. — С. 23–25.
8. *Проплавливающая способность дуги постоянного и переменного тока* / В. П. Будник, Б. А. Стебловский, М. Г. Буцько, В. Г. Крылов // *Там же.* — 1982. — № 8. — С. 68–70.
9. *Свойства соединений алюминиевых сплавов, выполненных сваркой на постоянном токе прямой полярности* / О. Н. Иванова, А. В. Лозовская, Д. М. Рабкин, В. П. Будник // *Там же.* — 1973. — № 3. — С. 8–11.

Papers dedicated to the process of direct polarity current welding of aluminium alloys developed by the E.O.Paton Electric Welding Institute and its commercial application are reviewed. The application field of this process has been identified, the related problems are listed and advantages are shown.

Поступила в редакцию 19.07.2002,
в окончательном варианте 10.08.2002