

ПРЕЦИЗИОННАЯ СВАРКА ВЗРЫВОМ КОНСТРУКЦИЙ

Л. Д. ДОБРУШИН, канд. техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Рассмотрена концепция прецизионной сварки взрывом конструкций, основанная на использовании методов и приемов минимизации импульсного воздействия на конструкцию и ее элементы. Представлены новые технологии и получаемые с их помощью изделия, показывающие возможности прецизионной сварки взрывом для решения различных задач современного сварочного производства, которые решить другими способами сварки затруднительно или невозможно.

Ключевые слова: прецизионная сварка взрывом, конструкции, элементы конструкций, трубчатые переходники, мишени-катоды, шины алюминиевые и медные, подвески биметаллические, электролизеры

В настоящее время сварка взрывом (СВ) как технологический процесс продолжает находить широкое и в то же время рациональное применение в сварочном производстве. СВ в основном применяется для получения плоских и трубчатых биметаллических и/или многослойных заготовок и полуфабрикатов из разнородных материалов различных сочетаний, как правило, с последующим переделом под конкретные малоразмерные изделия [1, 2]. В ряде случаев возникает необходимость решения задач конструкционной СВ, когда сварка выполняется на готовой конструкции, а получаемое соединение обычно не требует дальнейших переделов [3]. Однако в большинстве случаев решение такого рода задач лимитируется сопутствующими СВ (процессу с высокими давлениями и импульсами) чрезмерными остаточными деформациями и даже разрушением конструкции в месте сварки и/или плакирования.

В Институте электросварки им. Е. О. Патона развивается концепция прецизионной сварки взрывом (ПСВ) конструкций и их элементов, преимущественно на ограниченной и/или длинномерной поверхности, с использованием методов и приемов минимизации импульсного воздействия на конструкцию. Они основаны на оптимизации условий образования соединения вблизи нижней границы процесса, повышении энергоемкости режимов и технологических схем СВ и предотвращении недопустимых остаточных деформаций конструкции в области сварки и/или плакирования. Ниже представлены новые технологии и получаемые с их помощью изделия, показывающие возможности ПСВ для решения различных задач современного сварочного производства.

Трубчатые переходники Cu + Ti для рефрижераторов. Совмещение операций сварки с одновременной штамповкой (СВШ) при обработке металлов взрывом является одним из эффективных путей повышения рационального расхода энергии взрывчатого вещества (ВВ). В опубликованных работах по этому вопросу [4] даны основные сведения об особенностях реализации комбинированного процесса СВШ и разработана методика рас-

чета его оптимальных параметров, преимущественно биметаллических заготовок в виде части цилиндра или им подобных. В настоящей работе рассмотрены результаты исследований возможности получения с помощью аналогичного технологического приема трубчатых переходников Cu + Ti переменного сечения [5], удовлетворяющих следующим достаточно жестким техническим требованиям:

свариваемые медная трубка диаметром 50×2,0 мм, длиной 50 мм и титановая трубка диаметром 20×2,0, длиной 20 мм;

соединение медной и титановой трубок должно быть внахлестку, причем длина нахлестки не должна превышать 10 мм;

соединение переходника должно быть термостойким к последующей дуговой сварке, а также выдерживать давление при испытаниях до 1,5 МПа.

С учетом перечисленных технических требований ставилась задача разработать такую технологию прецизионной СВШ, в соответствии с которой энергия строго дозированного (миниатюрного) заряда ВВ будет распределяться последовательно и в то же время непрерывно на сварку титановой и медной трубок и штамповку (развальцовку) последней в матрице с требуемой конечной конфигурацией переходника. Предварительные эксперименты показали, что осуществить развальцовку медной трубки с почти 2,5-кратным увеличением наружного диаметра без разрушения стенки трубки не представляется возможным. Положительные результаты были достигнуты предварительной механической формовкой медной трубки с определенным конусом развальцовки и последующей штамповкой взрывом внутренним стержневым зарядом ВВ с использованием воды как передающей среды.

Для реализации одновременного с процессом штамповки взрывом соединения трубок внахлестку на весьма коротком промежутке (всего 10 мм) была применена угловая схема процесса СВ, для чего изнутри медной трубки выполнялась конусная проточка для формирования углового зазора между свариваемыми поверхностями трубок. Учитывая это, а также утонение медной трубки, происходящее при штамповке, толщина ее стенки была увеличена до 3,0 мм. Расчетно-экспериментальным методом определены основные геометрические параметры нахлестки с конусной проточкой и величина угла конуса предварительной развальцовки

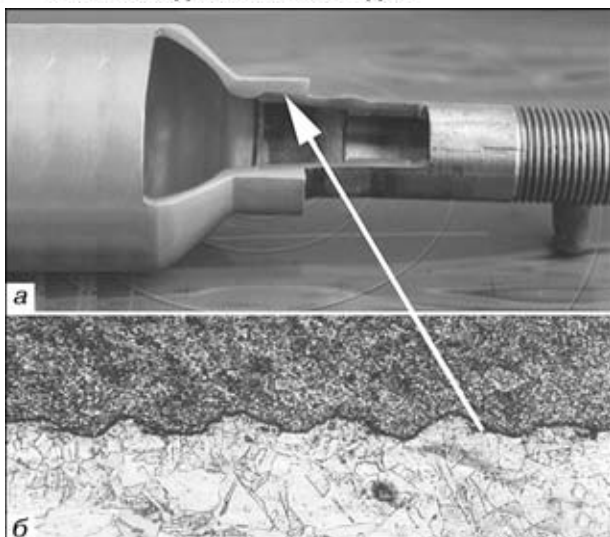


Рис. 1. Макрошлиф трубчатого биметаллического Cu + Ti переходника переменного сечения (а) и микроструктура (X156) зоны соединения (б)

медной трубки. Внешний вид полученного сварноштампованного переходника показан на рис. 1.

Проведены металлографические исследования и ультразвуковой контроль зоны соединения медной и титановой трубок. Установлено, что при исходной ширине углового зазора (проточки) около 10 мм ширина зоны соединения находится в пределах 7...8 мм, а ее средняя площадь равна $S_{св} \approx 5,0 \text{ см}^2$. При расчетной массе ВВ $m_{ВВ} = 2,1 \text{ г}$ его удельный расход составил $\eta_p = 0,42 \text{ г/см}^2$ (в расчете не учитывалась масса ВВ, расходуемая на инициирование стержневого заряда ВВ), что в несколько раз меньше, чем при обычной СВ, и свидетельствует о достаточно высокой эффективности разработанной технологии прецизионной СВШ. Как видно из рис. 1, граница соединения имеет регулярный волновой профиль и не содержит каких-либо дефектов, в том числе участков термомеханического влияния, часто сопровождающих процесс образования соединения при СВ.

Выполнены измерения температурных полей, возникающих при последующей аргонодуговой сварке переходника с одноименными трубками из меди и титана. Установлено, что максимальная температура зоны соединения при последующей дуговой сварке не поднимается выше $350 \text{ }^\circ\text{C}$, и продолжительность ее разогрева до этой температуры не превышает 6...7 мин. Проведенные металлографические исследования не выявили отрицательного влияния послесварочного нагрева на качество полученного соединения Cu + Ti. Достоверность полученных результатов исследований подтверждена успешно проведенными испытаниями переходников на внутреннее давление до 1,5 МПа.

Изготовленная опытная партия переходников передана заказчику в Республику Корея для проведения дальнейших испытаний в промышленных условиях применительно к рефрижераторам.

Мишени-катоды Cu + Ag для напыления стекол. Основная причина неудовлетворительной теплоизоляции оконных стекол состоит в их способности передавать не только видимое солнечное, но и невидимое инфракрасное излучение. Для того

чтобы придать оконному стеклу свойства фильтра, препятствующего инфракрасному излучению, на поверхность стекла наносится тонкий слой металла, например, серебра, который отражает указанное излучение. Нанесение металлов или полупроводников на стекла осуществляется методом магнетронного напыления в вакуумной камере. Для реализации процесса напыления необходимо использование специальных мишеней-катодов на основе биметалла Cu + Ag, в котором основание из меди служит охладителем, а плакирующий слой из серебра — распылителем в этой камере.

Биметаллическая мишень-катод Cu + Ag магнетрона представляет собой полосу длиной около 2 м и шириной 100 мм. Толщина плакирующего слоя из серебра находится в пределах 4...5 мм, в то время как толщина основы из меди составляет не менее 10 мм. Процесс СВ является практически единственным возможным методом изготовления такого типа биметаллических мишеней-катодов. Были проведены исследования и разработана технология длинномерного узкополосного плакирования взрывом основы из меди плакирующим слоем из серебра (оба свариваемых материала технической чистоты). В задачу исследований входило решение таких вопросов, как обеспечение высокой надежности процесса детонации длинномерного заряда ВВ, устранение неприваров по периметру плакирующего слоя и предотвращение остаточной деформации (прогиба) изделия после плакирования. На рис. 2 показана биметаллическая мишень-катод длиной около 2 м, полученная по разработанной технологии ПСВ. Мишень сфотографирована на стекле с нанесенным с ее же помощью покрытием из серебра толщиной 14 нм.

В соответствии с разработанной технологией ПСВ возможно изготовление аналогичных мишеней-катодов на основе биметаллов Cu + Sn и Cu + Ti, а также других сочетаний металлов сплавов.

Производство стекол с напылением осуществляется на предприятии «Технолуч» ИЭС им. Е. О. Патона.

Шины анодные Cu + Al для электролизеров.

В конструкциях электролизеров различного назначения в ряде случаев возникает необходимость

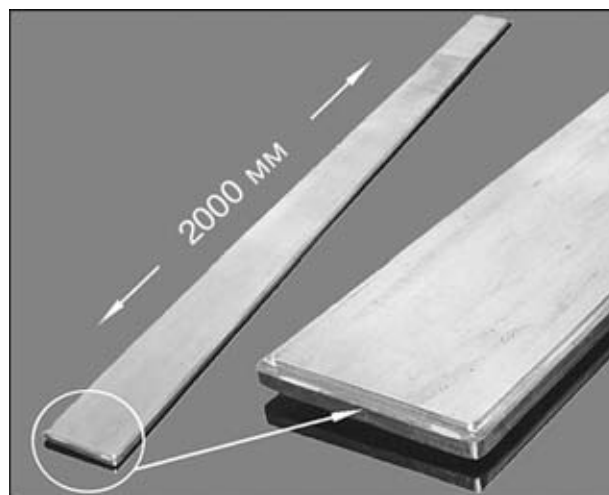


Рис. 2. Длинномерная биметаллическая мишень-катод Cu + Ag, полученная по технологии прецизионной сварки взрывом

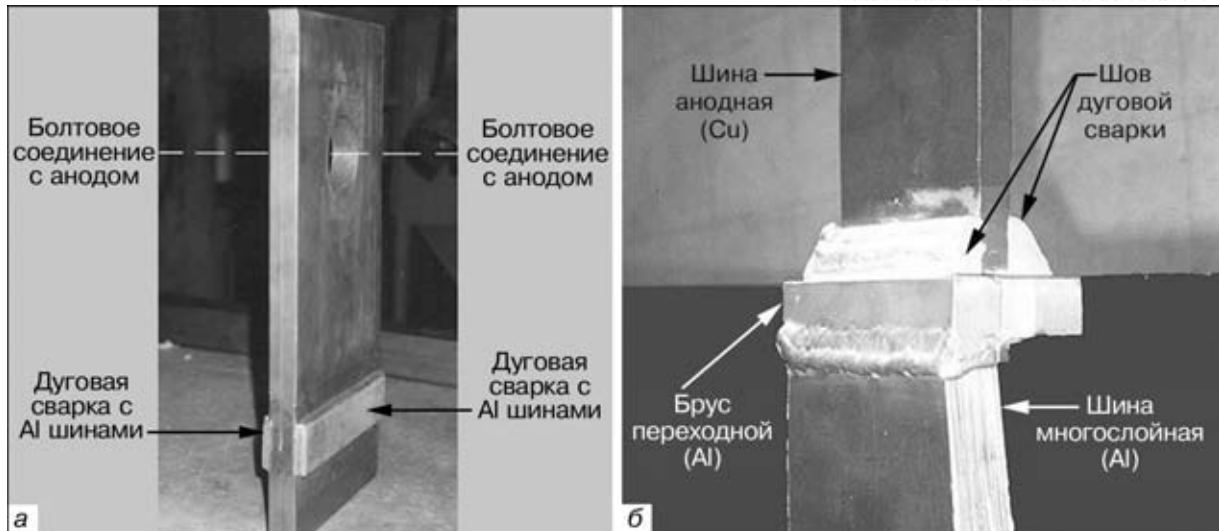


Рис. 3. Внешний вид медной шины, плакированной взрывом с двух сторон узкими алюминиевыми полосами (а), и вид сварного узла присоединения гибкой алюминиевой шины (б) к медной шине

присоединения гибких многослойных шинопроводов из алюминия к монолитной анодной шине из меди с обеспечением надежного соединения и электрического контакта (оба свариваемых материала технической чистоты). Среди существующих способов соединения алюминия с медью процесс СВ является наиболее эффективным и качественным способом. В то же время рассматриваемая задача является более сложной, чем СВ монолитных алюминиевых и медных шин. Для ее решения была реализована комбинированная схема соединения указанных токоведущих элементов, приведенная на рис. 3.

К медной шине размером 275×130×16 мм с обеих сторон вдоль ее ширины (130 мм) на расстоянии 37 мм от нижнего торца привариваются взрывом две узкие полосы из алюминия размером 25×5 мм (рис. 3, а), к которым пристыковываются два алюминиевых переходных бруска размером 25×25 мм. Далее осуществляется дуговая сварка брусков с алюминиевыми полосами угловым швом за несколько проходов. После остывания медной шины до комнатной температуры производится дуговая сварка гибких многослойных пакетов алюминиевых шинопроводов, состоящих из 46 слоев толщиной по 0,5 мм, с переходными брусками соответствующими стыковыми швами (рис. 3, б).

В процессе отработки технологии ПСВ необходимо было обеспечить локальное узкополосное плакирование взрывом медной шины без боковых неприваров. Для этого нами разработан принципиально новый подход, заключающийся в использовании специального инерционного устройства вокруг заряда ВВ. Опыт показал практически полное отсутствие боковых неприваров и возможность многократного использования инерционного устройства.

Шины длинномерные биметаллические Cu + Al. Следующим характерным примером эффективного и почти безальтернативного применения процесса ПСВ является получение контактных соединений между алюминиевыми и медными шинами. Болтовые контактные соединения между ними обладают пониженной электропроводимостью, которая со временем ухудшается из-за окисления

контактной поверхности алюминиевой шины, особенно при работе соединений в условиях повышенных температур. Для решения данной задачи разработана технология ПСВ в режиме остановки процесса детонации плоского заряда ВВ применительно к привариванию взрывом концов длинномерных ($L \approx 2$ м) алюминиевых шин к медным шинам-пластинам, которые имеют одинаковые сечения 100×10 мм. Для устранения начального непривара концевой участок алюминиевой шины располагается с нависанием относительно медной пластины примерно на длине 50 мм, откуда начинается процесс детонации заряда ВВ. После его инициирования происходит остановка (завершение) процесса детонации строго на кромке медной шины. В результате обеспечивается получение высококачественной сварки между шинами без повреждения длинномерной алюминиевой шины в месте остановки детонации заряда ВВ (рис. 4). Из фотографии можно видеть примерный угол соударения в момент остановки детонации и плавную форму изгиба приваренного концевого участка.

Описанные работы выполнены по заказу НПП «Феролит» (г. Кременчуг) с целью установки и испытания полученных переходных соединений в

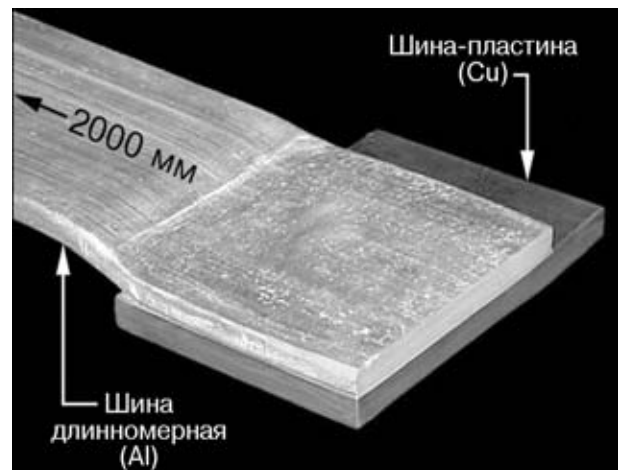


Рис. 4. Переходное сварное соединение длинномерной ($L = 2$ м) алюминиевой шины с медной шиной-пластиной

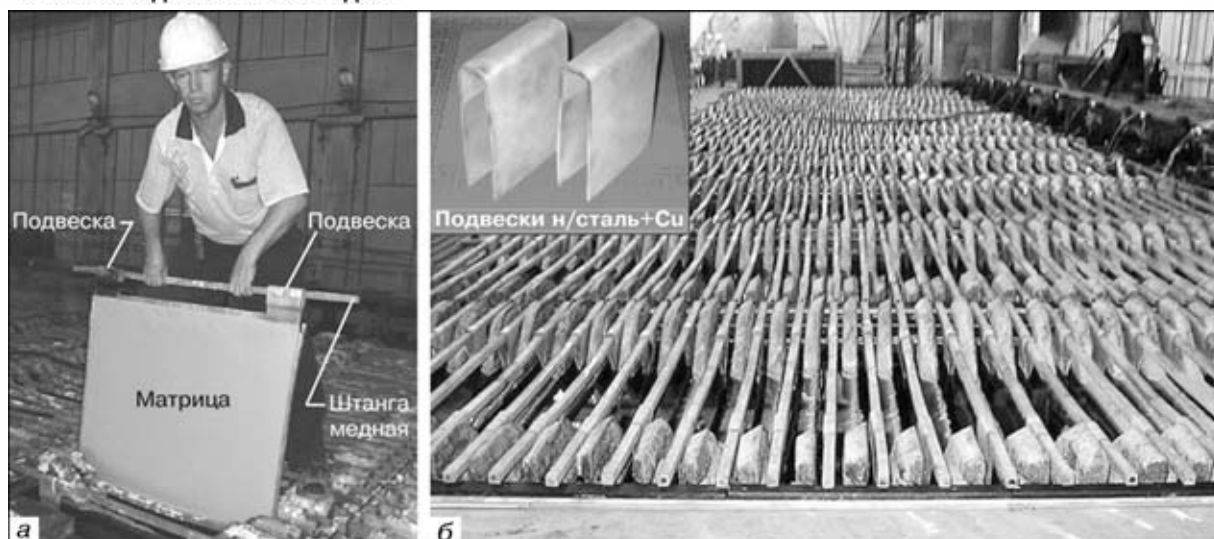


Рис. 5. Общие виды матрицы с контактными подвесками, плакированными взрывом слоем меди в зоне контакта с медной шиной-штангой (а), и цех электролиза катодной меди (б)

токоведущие узлы индукционных печей для производства синтетического чугуна из стального лома. Натурные испытания выполненных переходных соединений под нагрузкой при токе 2500 А показали, что в течение более чем года эксплуатации они не нагреваются выше 30 °С. Это свидетельствует об отсутствии значительного электросопротивления и падения напряжения на сваренной взрывом контактной границе алюминиевой длинномерной шины с медной шиной-пластиной.

Подвески контактные сталь + Cu для электролизеров. Недавно впервые в Украине компанией «Панком-Юн» (г. Одесса) с участием ИЭС им. Е. О. Патона организовано производство по электролизу катодной меди сверхвысокой чистоты. Для этого потребовалось разработать технологию ПСВ биметаллических контактных подвесок, которые представляют собою пластину из нержавеющей стали размером 300×110×3,0 мм, плакированную посередине пластиной из меди размером 110×100×1,5 мм. Плакированную пластину изгибают плакирующим слоем вовнутрь с обеспечением П-образного профиля (рис. 5, б). Подвески приваривают плавлением к матрице из нержавеющей стали размером 1600×900×3,0 мм и, пропуская через них медную шину-штангу сечением 22×22 мм (рис. 5, а), матрицу опускают в ванну электролизера (рис. 5, б), подвесив ее на медной шине-штанге. Наличие на подвесках плакирующего слоя меди обеспечивает надежный электрический контакт между медной шиной-штангой и матрицей, на которую осаждается чистая медь.

Получение с помощью СВ прочного и электропроводного соединения меди с нержавеющей сталью в принципе трудностей не вызывает, однако в данном случае необходимо было создать тех-

нологию массового производства подвесок, причем без деформаций последних и образования краевых неприваров. Для этого была разработана так называемая кассетная технология плакирования взрывом, согласно которой за один подрыв можно было получить от 5 до 10 биметаллических заготовок подвесок. Всего в течение рабочего дня может быть изготовлено до 200 шт. подвесок. Опыт более чем двух лет эксплуатации подвесок, причем в неблагоприятных для электрических контактных соединений условиях воздействия паров электролита, показал, что зона их контакта с медной шиной-штангой не нагревается выше 40...50 °С, и это является вполне приемлемым. В перспективе планируется переход на матрицы из титана и изготовление в связи с этим биметаллических подвесок на основе биметалла Ti + Cu.

Таким образом, описанные выше технологии и полученные с их помощью изделия показывают новые возможности ПСВ для решения различных задач сварочного производства.

1. Кудинов В. М., Коротеев А. Я. Сварка взрывом в металлургии. — М.: Металлургия, 1978. — 166 с.
2. Конон Ю. А., Первухин Л. Б., Чудновский А. Д. Сварка взрывом / Под ред. В. М. Кудинова. — М.: Машиностроение, 1987. — 216 с.
3. Производство металлических слоистых композиционных материалов / А. Г. Кобелев, В. И. Лысак, В. Н., Чернышев и др. — М.: Интермет Инжиниринг, 2002. — 496 с.
4. Кузьмин В. И., Лозовская В. Ф., Гуриков В. М. Особенности процесса сварки взрывом с одновременной штамповкой // Сварка взрывом и свойства сварных соединений. — Волгоград: ВПИ, 1985. — С. 94–100.
5. Добрушин Л. Д., Бугаец В. П. Получение трубчатых переходников «медь-титан» переменного сечения методом прецизионной сварки взрывом с одновременной штамповкой // Междунар. конф. «Слоистые композиционные материалы-98», Волгоград, сент. 1998 г.: Сб. тр. — Волгоград: ВолгГТУ, 1998. — С. 229–230.

Conception of explosion precision welding of structures and their elements, based on using methods and procedures of minimizing a pulsed action on the structure, is considered. Some products, produced by the developed technologies of explosion precision welding and representing the largest interest and demand for welding industry, are described.

Поступила в редакцию 17.03.2003