

СВАРКОПАЙКА С ПРОКОВКОЙ МЕТАЛЛА СВАРНОГО ШВА В ПРОЦЕССЕ ЕГО КРИСТАЛЛИЗАЦИИ

А. С. ПИСЬМЕННЫЙ, И. В. ПЕНТЕГОВ, доктора техн. наук, **В. М. КИСЛИЦЫН, Е. П. СТЕМКОВСКИЙ,**
Д. А. ШЕЙКОВСКИЙ, кандидаты техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Рассмотрены преимущества способа сваркопайки оцинкованной стали, включающего ударную проковку металла в зоне соединения на стадии охлаждения металла, в сравнении с получившим широкое распространение способом пайки с дуговым нагревом припоями на основе меди.

Ключевые слова: точечная контактная сварка, сваркопайка, проковка, взрывной механизм сжатия, прочность соединения

В настоящее время для соединения тонколистовой оцинкованной стали широкое распространение получил способ пайки с дуговым нагревом припоями на основе меди. Выбор этого варианта соединения обусловлен, к сожалению, не стремлением достижения высокого качества соединения, а возможностью повышения производительности процесса с помощью существующего оборудования для автоматической или полуавтоматической дуговой сварки в среде активных защитных газов [1].

Основные затруднения при сварке оцинкованной стали вызваны тем, что цинк начинает испаряться намного раньше температуры плавления основного металла. При этом из-за появления паров цинка над сварочной ванной электрическая дуга теряет устойчивость, что способствует появлению пористости сварного шва, подрезов и других дефектов.

В связи с этим при дуговой сварке оцинкованной стали используют режим нагрева с меньшим тепловложением, а в качестве присадочной проволоки — сплавы на основе меди, например, состава CuSn6P , CuSi3 , CuSi2Mn , CuSi3 [1, 2].

Поскольку при использовании указанных выше присадочных материалов появляется возможность избежать плавления основного металла, то такого рода соединения можно отнести к категории паяных, хотя в этом процессе не используют флюсы, обязательные для проведения процесса пайки в неконтролируемой атмосфере. При этом дуга служит источником тепла, по интенсивности сравнимого с теплом, выделяемым, например, при газопламенном нагреве.

К сожалению, защитные газы (аргон, гелий), используемые при дуговой сварке, не обеспечивают необходимой степени смачивания и растекания присадочного металла на основе меди по

поверхности оцинкованной стали. Это обстоятельство приводит к возникновению подрезов в зоне соединения, способствует зарождению микротрещин, снижающих прочность соединения при его эксплуатации в условиях воздействия циклических нагрузок.

В связи с этими недостатками способа пайки оцинкованной стали с дуговым нагревом возникает вопрос выбора оптимального варианта, обеспечивающего не только высокую производительность технологического процесса, но и высокое качество соединения.

Одним из перспективных вариантов получения соединений металлов с покрытиями является сваркопайка, представляющая собой уникальный способ получения соединений одно- и разнородных металлических и неметаллических материалов. Существенным отличием сваркопайки от других способов соединения является предварительное введение легкоплавкой (по сравнению с соединяемыми материалами) прослойки между соединяемыми материалами или ее возникновение в процессе нагрева. В случае соединения оцинкованной стали такого рода прослойкой служит цинковое покрытие, которое плавится при температуре намного ниже плавления стали.

Кроме того, для процесса сваркопайки характерно приложение одно- или многократного усилия сжатия (проковки), необходимого для удаления большей части легкоплавкой прослойки из зоны соединения, что значительно повышает прочность соединения.

Попытки использования проковки металла на заключительной стадии процесса сварки для повышения прочности сварного соединения были реализованы, например, в установках для точечной контактной сварки металлов [3, 4].

Данный вариант нашел применение при сварке металлов, склонных к образованию трещин, рыхлостей и пор, с целью повышения усталостной прочности сварных соединений. Однако практи-



чески такого рода «проковка» не приводила к заметному увеличению прочности соединения из-за низкой скорости приложения усилия сжатия, вызванной использованием пневматического привода перемещения подвижного сварочного электрода и инерционностью узла его подвески. В результате вместо высокоскоростной проковки металл сварной точки подвергался воздействию статического усилия сжатия.

Запаздывание момента воздействия на металл сварной точки усилия проковки при температуре ниже точек структурных превращений кристаллической решетки обрабатываемого металла, например, точки A_{c1} , не приводило к существенной деформации металла сварной точки и созданию в околошовной зоне механических напряжений сжатия. Кроме того, приложении ковочного усилия к затвердевшему металлу не способствовало удалению из зоны соединения большей части легкоплавкой прослойки, особенно, в процессах сваркопайки, что могло бы существенно увеличить прочность соединения.

Повышение эффективности проковки металла сварного или паяного соединения оказалось возможным за счет резкого увеличения скорости приложения усилия сжатия. Результаты проведенных сравнительных испытаний прочности полученных соединений показывают явные преимущества ударного приложения усилия сжатия по сравнению с прочностью соединений, полученных при приложении статического усилия сжатия [5].

Ударная проковка металла в зоне соединения, проводимая на стадии его кристаллизации, приводит к возникновению нескольких технологически важных явлений, способствующих повышению прочности сварного соединения.

К особенностям этого варианта термомеханической обработки металла в процессах сваркопайки или сварки относится формирование механических напряжений сжатия как в металле соединительного шва, так и в зоне термического влияния, которые сохраняются в процессе дальнейшего охлаждения соединяемых металлов. Помимо этого, повышению прочности сварного соединения способствуют процессы измельчения кристаллической структуры металла в зоне соединения, вызываемые высокоскоростной деформацией при повышенной температуре.

Результаты технологических исследований, изложенные в работе [5], были получены при использовании электромагнитного привода системы ударного воздействия усилия сжатия, однако инерционность подвижной части (подвески) сварочного электрода ограничивала скорость приложения усилия сжатия на уровне 300 м/с [6].

Предположение о перспективности повышения скорости осадки в процессах точечной контактной сварки или сваркопайки в основном ос-

новывается на опыте кузнечной сварки с косвенным нагревом соединяемых металлов, причем резкое увеличение скорости усилия сжатия, по всей вероятности, должно неминуемо сопровождаться появлением новых технологических эффектов.

Повысить скорость приложения усилия сжатия можно путем использования взрыва водородно-кислородных смесей, скорость распространения фронта ударной волны которых достигает 3000 м/с [7]. Еще больших скоростей (до 6000 м/с) можно достичь при использовании электрогидравлического эффекта [8].

В данной работе рассматривается вариант способа точечной контактной сваркопайки с воздействием на металл сварного шва усилия сжатия, создаваемого в результате взрыва водородно-кислородных смесей стехиометрического состава, получаемых электролизом воды в портативных газогенераторах. Например, генератор типа П-105, который разработан в ИЭС им. Е. О. Патона для газопламенной пайки и сварки малогабаритных изделий, обеспечивает производительность водородно-кислородной смеси до 350 л/ч при избыточном давлении до 0,07 МПа.

Схема взрывного привода перемещения электродного узла установки для точечной сваркопайки, не намного отличающаяся от известных схем установок с использованием проковки, приведена на рис. 1. Как показано на рисунке, водородно-кислородная смесь генерируется в электролизере 1 и поступает в электродный узел через электропневмоклапан 2, включение которого осуществляется командоаппаратом 3. Последний обеспечивает включение тока нагрева, регулирование количества импульсов переменного тока, время задержки включения электропневмоклапана

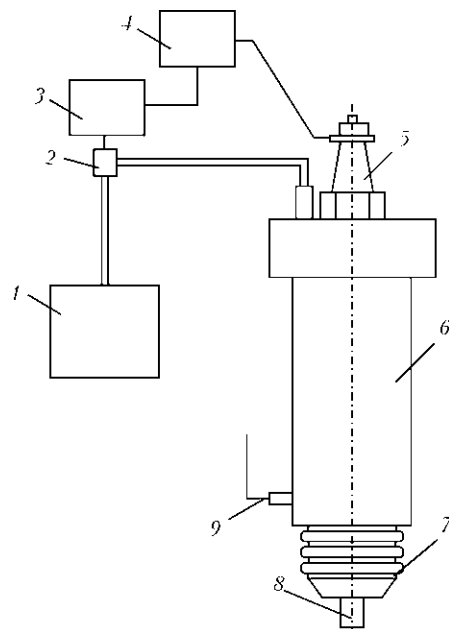


Рис. 1. Схема привода электродного узла для точечной сваркопайки: 1–9 — см. в тексте

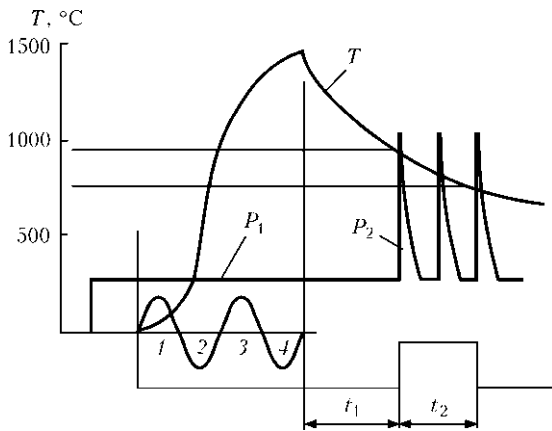


Рис. 2. Циклограмма процесса сваркопайки с ударным приложением усилия проковки

после завершения серии импульсов тока нагрева соединяемых образцов, включение генератора высоковольтных импульсов 4, подаваемых на устройство поджига горючей смеси 5. Электродный узел выполнен в виде цилиндра 6, в нижней части которого расположен сильфон 7 с узлом крепления сменного сварочного электрода 8 и дренажное отверстие для выхода продуктов сгорания 9.

Узел крепления сварочного электрода выполнен на основе сильфона, гофры которого полностью смыкаются в начальный момент для обеспечения предварительного усилия сжатия, но допускают дополнительное перемещение сварочного электрода в вертикальном направлении под воздействием импульса давления, возникающего во взрывной камере при подрыве горючей смеси.

На циклограмме процесса (рис. 2) представлена последовательность воздействия следующих технологических параметров: приложение усилия сжатия (предварительного P_1 и ударного воздействия P_2); кривая роста температуры в зоне соединения в процессе прохождения четырех полупериодов (1–4) тока нагрева; интервал времени задержки ударного воздействия усилия сжатия t_1 и момент подачи высоковольтного напряжения на запальное устройство системы подвески электрода со взрывным приводом электродного узла установки для точечной сваркопайки (в этом случае реализуется единичный импульс приложения усилия проковки) или с электромагнитным приводом, обеспечивающим воздействие нескольких импульсов усилия проковки.

Как видно из циклограммы, после создания в зоне соединения предварительного усилия сжатия, при включении тока нагрева срабатывает электропневматический клапан, соединяющий газовый объем электролизера со взрывной камерой. При этом совершается продувка через дренажное отверстие внутренней полости взрывной камеры с последующим заполнением ее горючей смесью. После разъединения полости взрывной камеры от объема электролизера командоаппарат обеспечи-



Рис. 3. Сварочная головка с механизмом ударной обработки сварного шва взрывного типа

вает подключение электрической цепи источника питания системы подрыва горючей смеси. Дренажное отверстие после продувки полости взрывной камеры остается открытым, так как экспериментально установлено, что малый диаметр этого отверстия (около 1 мм), высокая скорость распространения взрывной волны и малый интервал времени между моментом окончания заполнения взрывной камеры и моментом подачи высоковольтного импульса подрыва смеси почти не снижают эффективность взрывной волны.

Сварочная головка с механизмом ударной обработки сварного шва взрывного типа представлена на рис. 3.

На рис. 4 приведена типичная осциллограмма расположения импульсов сварочного тока (в данном случае четырех полупериодов) и импульсов тока, обеспечивающего подрыв горючей смеси.

Сигнал на подрыв горючей смеси поступает от командоаппарата управления блоком питания сварочной цепи после отсчета установленного

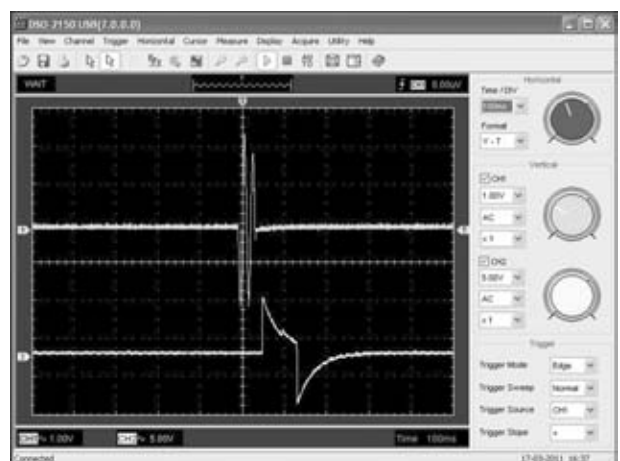


Рис. 4. Осциллограмма импульсов сварочного тока и импульсов тока в цепи взрывного приложения усилия сжатия

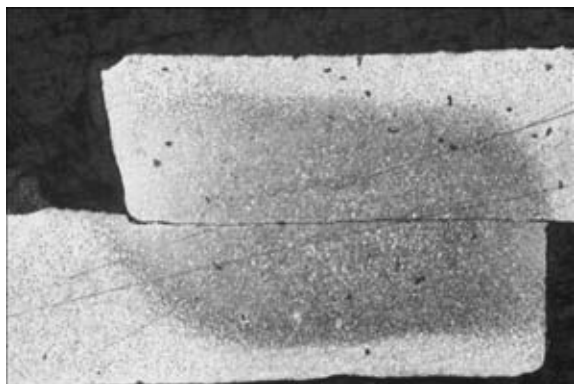


Рис. 5. Типичный макрошлиф ($\times 50$) паяного соединения с ударной проковкой зоны соединения

оператором времени задержки заданного интервала времени от момента окончания импульса сварочного тока. На этом цикл сварки одиночной точки заканчивается и многократно повторяется в этой последовательности при реализации процесса, аналогичного процессу шовной пайки сопротивлением.

Для проведения технологических исследований процесса сваркопайки со взрывным приложением усилия осадки были использованы образцы стали Ст3 толщиной 0,3 мм с цинковым покрытием. Процесс сваркопайки проводили на лабораторной установке для точечной контактной сварки, на верхнем электрододержателе которой был закреплен электродный узел со взрывным приводом осадки.

Результаты технологических экспериментов показывают возможность сохранения сплошности цинкового покрытия в зоне контакта соединяемых листов со сварочными электродами за счет снижения уровня тепловыделения на переходных сопротивлениях и интенсивного отвода тепла из этой зоны в принудительно охлаждаемые электроды, обеспечивающие усилие сжатия в зоне сваркопайки.

Ударное воздействие давления на этапе кристаллизации металла в зоне соединения способствует резкому увеличению отвода тепла от поверхностных слоев соединяемых металлов, подвергаемых проковке, что приводит к сужению ширины зоны термического влияния.

Как видно из фотографии макрошлифа паяного соединения с цинковым покрытием (рис. 5), размеры зоны термического влияния могут быть существенно снижены даже при соединении листов с большей толщиной (0,4 мм).

Одной из особенностей процесса сваркопайки с ударной осадкой в некоторых случаях является почти полное вытеснение низкотемпературной прослойки при минимальном утонении толщины соединяемых листов в зоне соединения оцинкованных листов (рис. 5, 6).



Рис. 6. Макрошлиф ($\times 50$) сварнопаяного соединения по сечению вблизи центра соединения

Как показали результаты экспериментов, эффективность ударного приложения усилия осадки может быть реализована не только при нагреве электрическим током, но и для иных вариантов нагрева зоны соединения, например, газопламенного, микроплазменного, дугового. К преимуществам газопламенного нагрева (водородно-кислородными смесями) относится высокая точность параметров, чистота газовой смеси, возможность тонкой настройки требуемой тепловой энергии, вводимой в зону соединения (в импульсном режиме нагрева).

Возможность использования косвенного нагрева представляет единственный технологический вариант, позволяющий проводить сварку неметаллических материалов.

Для реализации варианта косвенного нагрева свариваемых деталей сварочную головку достаточно укомплектовать плазмотроном или газопламенной горелкой. В этом случае командоаппарат должен обеспечить непрерывную последовательность команд на поступление в зону нагрева импульса тепловой энергии заданного значения и ударную обработку зоны соединения. В перспективе возможен переход от импульсного нагрева к непрерывному, регулирование которого возможно за счет выбора мощности источника нагрева, скорости перемещения сварочной головки, расстояния между источником косвенного нагрева и зоной соединения.

Выводы

1. Ударная проковка металла в процессе точечной сваркопайки тонколистовой стали с цинковым покрытием является не только наиболее приемлемым, но и единственным, по нашему мнению, вариантом соединения, перспективность которого доказывается возможностью сохранения исходного слоя покрытия после нагрева соединяемых листов выше точки плавления цинка и повышения коррозионной стойкости соединений в процессе эксплуатации за счет исключения в зоне соединения меди и ее сплавов.

2. Ударное приложение усилия сжатия в процессе сварки на этапе охлаждения металла в зоне соединения способствует увеличению прочности сварнопаяного соединения за счет измельчения структуры металла, снижения вероятности возникновения дефектов в зоне соединения, особенно, пор, трещин и газовых включений.

1. *Arc brazing of galvanized sheets* // *Welding and Cutting*. — 2010. — 9, № 1. — P. 20.
2. *Investigations into the material failure of resistance weld spots on ultrahigh-strength steels* // *Ibid.* — 2010. — 9, № 3. — P. 167–173.
3. *Оборудование для контактной сварки: Справочное пособие* / Под ред. В. В. Смирнова. — СПб.: Энергоатомиздат, 2000. — 848 с.

Advantages of the process of braze-welding of zinc-plated steel, including impact peening of metal in the joint zone at metal cooling stage are considered, in comparison with the widely accepted process of brazing by copper-based filler metals with arc heating.

4. *Моравский В. Э., Ворона Д. С.* Технология и оборудование для точечной и рельефной конденсаторной сварки. — Киев: Наук. думка, 1985. — 272 с.
5. *Письменный А. С., Кислицын В. М.* Влияние ударной обработки металла шва на прочность сварного соединения // *Автомат. сварка*. — 2010. — № 1. — С. 47–50.
6. *Устройства для ударной обработки сварного шва в процессе точечной контактной сварки* / А. С. Письменный, И. В. Пентегов, В. М. Кислицын и др. // Там же. — 2011. — № 1. — С. 51–54.
7. *Новые технологические процессы в точном приборостроении* / Под ред. Р. Зевига; пер. с нем. под ред. И. Б. Литинецкого. — М.: Энергия, 1973. — 440 с.
8. *Юткин Л. А.* Электрогидравлический эффект. — Л.: Машгиз, 1955. — 50 с.

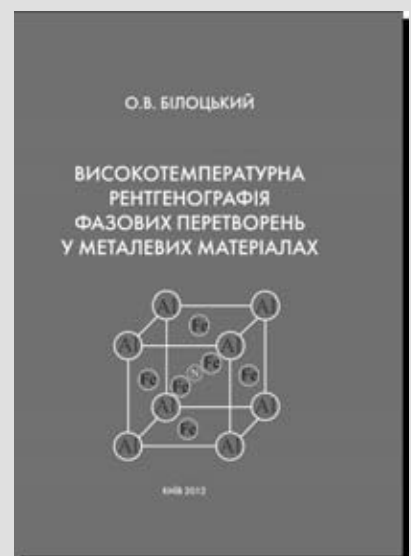
Поступила в редакцию 05.07.2012

НОВАЯ КНИГА

О. В. Білоцький. Високотемпературна рентгенографія фазових перетворень у металевих матеріалах. — К.: Міжнародна асоціація «Зварювання», 2012. — 222 с.

В монографии на основе системных исследований изложены впервые разработанные методические основы и результаты особенностей кинетики фазовых превращений в лучах высокотемпературной рентгенографии металлических материалов. Кинематографические съемки осуществлены на оригинальных конструкциях рентгеновского оборудования. Это обеспечило возможность регистрации полиморфных превращений, диффузионных процессов и изучения температурно-временных условий последовательности образования и распада твердых растворов и химических соединений. Показана доминирующая роль и значение изменений химического состава и физического состояния фазовых составляющих сплавов во время термической и химико-термической обработки как средства управления их структурой и свойствами.

Для научно-технических работников, разрабатывающих новые материалы и изучающих их строение и свойства, а также преподавателей, аспирантов и студентов вузов соответствующих специальностей.



По вопросам реализации просьба обращаться в редакцию журнала «Автоматическая сварка»