

УДК 621.791

Д. И. Якубович, канд. техн. наук

ВЛИЯНИЕ ТОЧНОСТИ СБОРКИ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ГОРЕНИЯ ДУГИ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ РАЗМЕРЫ ШВА ПРИ СВАРКЕ ТОНКОЛИСТОВОГО МЕТАЛЛА

Рассмотрены особенности процесса формирования сварного шва при сварке металла малой толщины. Доказана эффективность использования поперечных колебаний электрода относительно оси шва для повышения качества сварного соединения. Определены допустимые значения амплитуд и частот колебаний электрода, позволяющие производить сварку тонколистовых соединений с нарушением точности сборки.

При сварке стыковых соединений вероятность образования прожогов увеличивается с ухудшением точности сборки кромок [1–3]. Сварка с небольшими зазорами (до 0,3...0,5 мм) особых трудностей не вызывает [4, 5], но с их увеличением до значений, равных толщине металла и более, выполнять сварку затруднительно, а порой и невозможно из-за возникающих дефектов в виде прожогов. В разработанных ранее технологиях сварки тонколистового металла [6, 7] говорится только о сварке с зазорами, влияние смещения кромок практически не исследовалось.

В настоящей работе рассматриваются особенности предотвращения прожогов при помощи циклических колебаний электрода поперек оси шва.

Для исследования влияния колебаний электрода на предотвращение прожогов был проведен ряд экспериментов. При их выполнении использовались пластины из низкоуглеродистых сталей толщиной 1 мм, на которые наплавились сварные швы без колебаний и с циклическими колебаниями электрода при амплитуде 2 мм и частоте 3 Гц. Режимы сварки при выполнении обоих швов устанавливались следующие: $I_{св} = 70...80$ А; $V_{св} = 5...10$ м/ч; $U_d = 19...20$ В. Для сварки использовались специально разработанная сварочная горелка и колебательное устройство.

Результаты исследований показали, что при сварке без колебаний элект-

рода с обратной стороны шва имеются большие (до 2 мм) провисания шва и дефекты в виде прожогов.

Швы, выполненные с применением колебаний перпендикулярно оси сварного шва, имеют незначительное провисание обратной стороны шва, прожоги отсутствуют. Применение поперечных колебаний электрода позволило получить качественное формирование сварного шва.

Для исследований сварки с колебаниями по зазору проводились эксперименты, при которых расстояние между кромками устанавливалось пропорционально толщине металла. Для стали толщиной $\delta = 1$ мм устанавливался зазор, равный $0,5\delta$. В сварном шве, выполненном без колебаний, прожоги отсутствовали, но провисание превышало допустимые стандартом величины. Увеличение расстояния между кромками деталей до $h = \delta$ привело к появлению прожогов. Повысить качество шва удалось, применив в процессе сварки циклические колебания электрода. Шов формировался качественный с провисанием, не превышающим 0,9 мм.

Результаты исследований показали целесообразность использования поперечных колебаний электрода для перекрытия зазора между свариваемыми кромками.

Производство высококачественных сварных тонколистовых конструкций возможно только при решении

комплекса задач, основной из которых является точная сборка под сварку [8], где смещение свариваемых кромок не превышает допусковых значений [9]. Обеспечение высокой точности сборки при сварке металла малой толщины затруднено даже с использованием частых прихваток. Из-за деформаций металла возникает смещение кромок. Влияние смещения кромок на устойчивость образования сварного соединения исследовалось при смещениях, равных $(0,1 \dots 1,0)\delta$.

При точной сборке изделия анодное пятно находится на обеих кромках. Траектория его перемещения и площадь

нагрева на каждой из них примерно одинаковы.

При одинаковом тепловом воздействии на металл уменьшение длины дуги увеличит её проплавляющую способность, а уменьшение площади анодного пятна приведет к повышению концентрации дуги и, как следствие, к ускоренному плавлению кромки металла. Это приведет к перемещению расплавленного металла с верхней кромки на нижнюю (рис. 1, а), увеличивая вероятность вытекания металла из сварочной ванны.

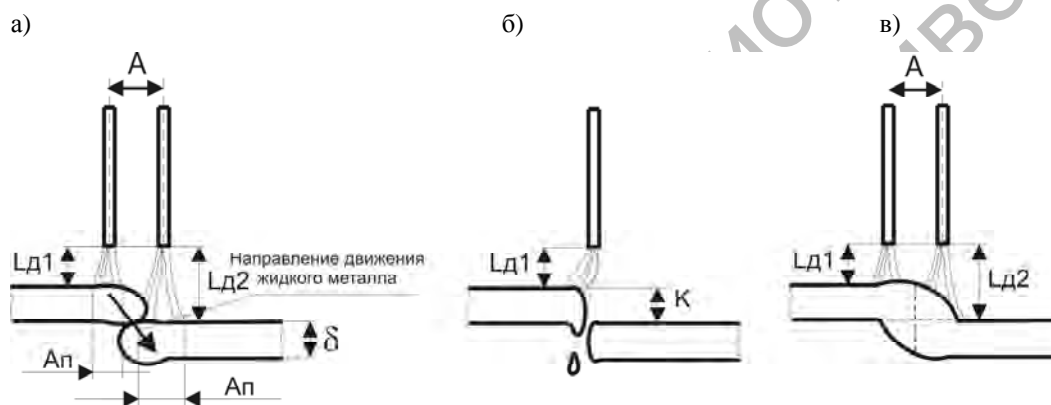


Рис. 1. Схема, отражающая условия горения дуги при сварке соединений со смещением кромок: L_d – длина дуги; A_n – анодное пятно; A – размах колебаний

Смещение кромок изменяет параметры дуги, что вызывает изменения в электрических процессах контура электрической цепи, которые приводят к нарушению устойчивости её горения [10]. На ближней кромке дуга становится короче, чем на дальней кромке (см. рис. 1, а). Восстановление стабильности в дуге происходит за счет процессов саморегулирования.

При проведении исследований условие устойчивости саморегулирования дуги при сварке плавящимся электродом определялось по статическим вольт-амперным характеристикам источника питания и дуги.

Изменение длины дуги L_d на малую величину l_d происходит при нали-

чии перекоса кромок в момент её перехода с одной кромки металла на другую. Вызванные изменения сопровождаются нарушением устойчивости режима сварки и появлением отклонений сварочного тока i_d и напряжений источника питания [11].

Для сокращения времени переходных процессов $t_p \approx 3\tau$ при саморегулировании дуги необходимо стремиться к применению электродных проволок малого диаметра и уменьшению разницы динамических сопротивлений дуги и источника питания.

Перекося кромок, вызывающий резкое изменение длины дуги, приводит к включению процесса саморегулирования, который по причине кратковре-

менного нахождения дуги на одной кромке ограничен во времени. При частоте колебания электрода 3 Гц время его нахождения на одной кромке составляет 0,165 с. За этот промежуток времени процесс горения дуги должен полностью восстановиться.

Наиболее полное описание процесса саморегулирования и его исследование при сварке со смещением кромок можно получить при изучении структурной схемы процесса. Анализ динамики переходного процесса осуществлялся при помощи оболочки Simulink программы Matlab, предназначенной для расчета переходных процессов в моделях структурных схем.

Исходные данные для расчетов выбирались с учетом требований, предъявляемых к сварке тонколистового металла. Напряженность электрического поля определялась из соотношения номинального напряжения на дуге к

номинальной длине дуги. В связи с тем, что необходимо использовать жесткую вольт-амперную характеристику сварочного источника, связь между $I_{св}$ и $U_{св}$ описывается безынерционным звеном с коэффициентом передачи $1/R_{и}$ ($R_{и}$ – сопротивление источника питания при номинальном режиме работы). Коэффициент саморегулирования по току и напряжению принимался согласно [9]; постоянную времени плавления электродной проволоки принимали равной $1/3$ от времени её плавления.

Номинальный сварочный ток устанавливался 80 А, напряжение на дуге – 20 В, длина дуги равнялась 3, 5 и 10 мм. Возмущения по длине дуги изменялись от 0,1 до 1 мм с шагом 0,1 мм.

Результаты расчета переходных процессов в программе Matlab для номинальной длины дуги, равной 5 мм, приведены на рис. 2.

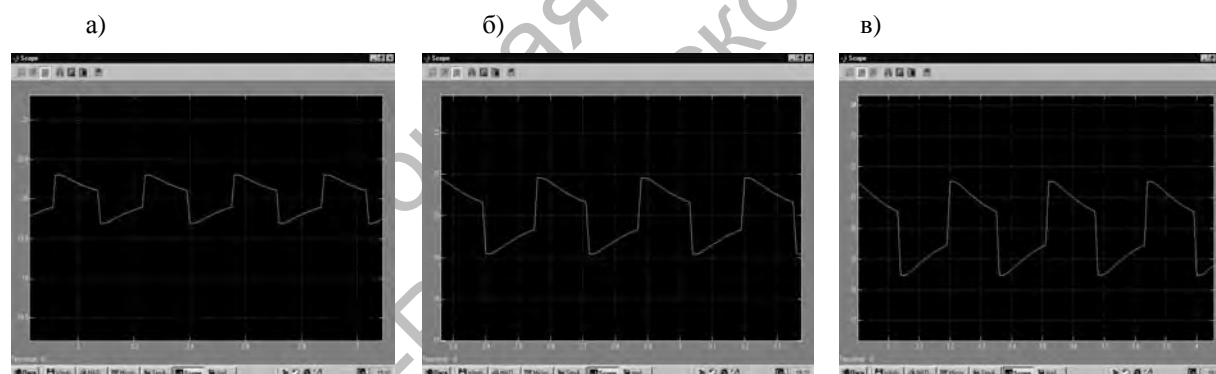


Рис. 2. Изменения напряжения на дуге при возмущениях, равных: а – 0,1 мм; б – 0,3 мм; в – 0,5 мм

Полный расчет (в виде графиков) для различных длин дуг и возмущений по их длине представлен на рис. 3.

Процесс считался устойчивым, когда напряжение попадало в область, равную 5 % от номинального значения напряжения на дуге (19...21 В).

Исследования показали, что с увеличением длины дуги процесс саморегулирования происходит более устойчиво. Из выбранных значений наиболее устойчивой является дуга длиной 10 мм.

При возрастании возмущений на дуге перераспределение по её длине увеличивается.

В результате исследований установлено, что при переходе дуги через смещение кромок напряжение на дуге изменяется скачкообразно за 0,01...0,02 с. Время стабилизации напряжения (время регулирования) составляет 0,1...0,15 с, которого достаточно для стабилизации дуги перед следующим её переходом через кромку металла.

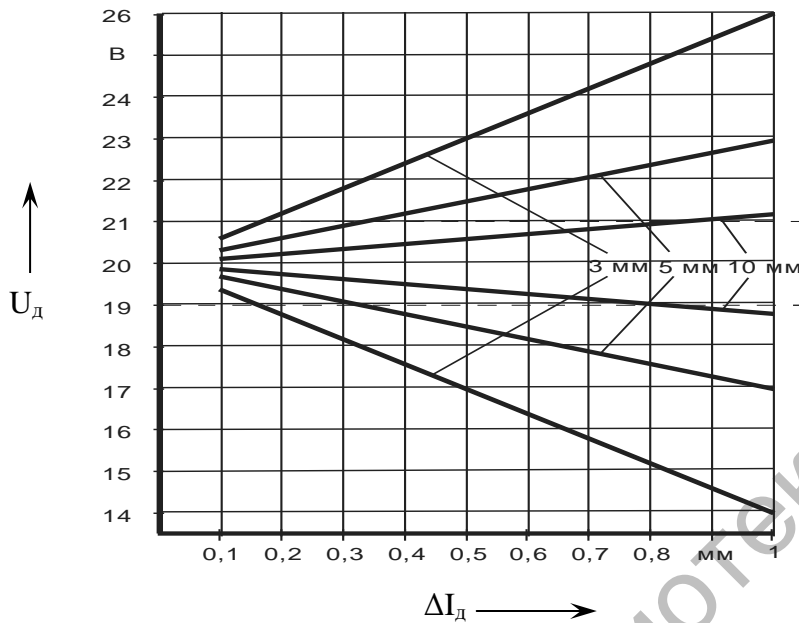


Рис. 3. Максимальное перерегулирование напряжения на дуге при увеличении возмущений

Полученные результаты позволили установить линейную зависимость изменения напряжения на дуге при различных возмущениях её длины.

По принципу минимума, сформулированному Штейнбеком, дуга горит в условиях, когда потери энергии минимальны. В рассматриваемом случае минимум затрат энергии будет при горении короткой дуги, следовательно, между электродом и дальней кромкой горения дуги происходить не будет (рис. 1, б). Энергия дуги будет затрачена на расплавление верхней кромки с образованием прожогов преимущественно с одной стороны шва.

Для предотвращения одностороннего горения дуги следует вынудить её гореть на обеих кромках при помощи циклических колебаний электрода (рис. 1, в).

Подтверждение эффективности принудительного перемещения дуги получено при исследованиях, проводившихся на образцах со смещением кромок, изменяющимся от $K = 0,1\delta$ до $K = 1\delta$ мм при сварке без зазора. Смещение величиной до $(0,3...0,4)\delta$ существенных трудностей получения качественного

сварного соединения не вызывает.

При увеличении смещения кромок до величин, равных толщине металла, возникают прожоги и чрезмерно провисает обратная сторона шва. Устранить дефекты можно при помощи циклических колебаний электрода. Выполненные швы представлены на рис. 4.

Швы сформировались с провисанием – не более 0,3 мм, шириной шва – 4,5...5,0 мм и высотой – 0,6...0,7 мм. Смещения кромок, превышающие толщину металла, не позволяют получать качественные соединения даже с применением колебаний.

Колебания электрода позволяют выполнять соединения не только с зазорами между кромками, но и с их смещением.

Результаты данных исследований послужили основанием для разработки технологии роботизированной сварки, реализованной на роботизированном комплексе РМ-01. Сварные швы выполнялись без колебаний и с колебаниями электрода. Автоматизация процесса позволила улучшить качество сварного шва и исключить влияние квалификации сварщика (рис. 5).

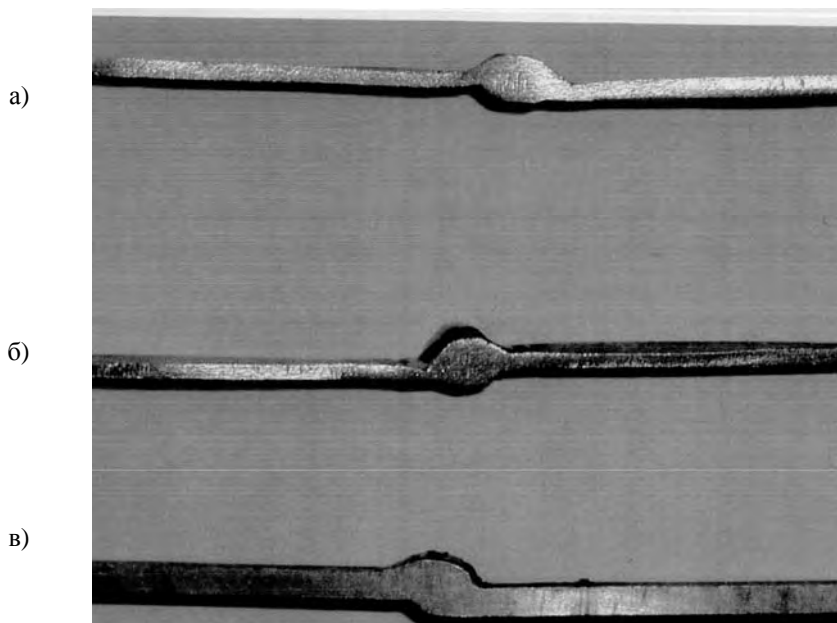


Рис. 4. Сварные соединения, выполненные со смещением кромок: толщина образцов а и б – 1 мм; в – 2 мм; смещение кромок а – 0,58; б – 1,08; в – 0,88

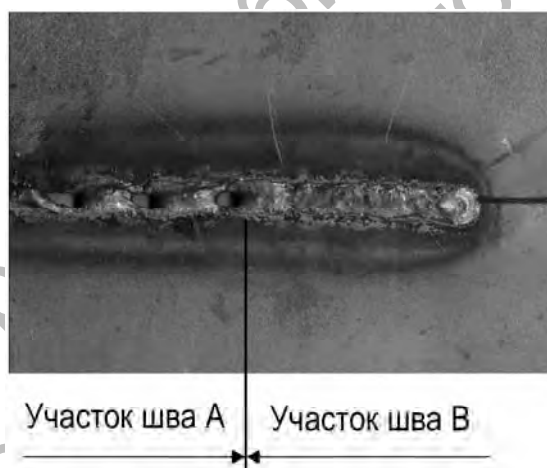


Рис. 5. Сварной шов, выполненный на роботизированном комплексе РМ-01: участок шва А выполнен без колебаний электрода; участок шва В – с колебаниями электрода

На рис. 5 показано соединение с величиной зазора 1 мм при толщине металла 1 мм. Начало шва выполнено без колебаний электрода, имеет прожоги шириной 2...3 мм, расположенные на одинаковом расстоянии 9...11 мм, что говорит о постоянстве появления такого рода дефектов.

Вторая часть шва выполнена с колебаниями электрода, прожоги отсутст-

вуют, имеется равномерное провисание шва 0,2...0,4 мм.

В результате проведенных исследований определены требования к сборке сварных соединений. Установлено, что при сварке на найденных оптимальных режимах допустимая величина зазора между кромками изделия и величина смещения кромок при сварке металла малой толщины могут состав-

лять от 0 до 100 % толщины металла ($K = \delta$; $h = \delta$).

Выводы

1. Установлены максимально допустимые зазоры между кромками стыковых соединений, выполненных из тонколистовой стали, при которых возможно успешное формирование сварного шва и доказана эффективность использования поперечных колебаний электрода относительно оси шва для качественного перекрытия зазора.

2. Впервые исследовано влияние смещения кромок соединяемых деталей на процесс сварки металла малой толщины и установлены допустимые значения амплитуд и частот колебаний электрода, позволяющие производить сварку соединений со смещением кромок, равным 10...100 % от толщины металла.

3. Разработана технология роботизированной сварки тонколистовой стали с величиной зазора, равной толщине металла, и найдены оптимальные режимы сварки, позволяющие выполнять сварное соединение при напряжении 20 В, силе сварочного тока 70...80 А, частоте колебаний электрода 3...4 Гц, амплитуде колебаний 2 мм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Маслов, Ю. А.** Автоматическая сварка тонколистовой высокопрочной стали / Ю. А. Маслов, В. Д. Горожанин. – М. : Машгиз, 1961.

2. **Рабинович, И. Я.** Развитие оборудования для дуговой электрической сварки / И. Я. Рабинович // Перспективы развития электросварочного оборудования в СССР (1959–1965): сб. тр. – М., 1958.

3. **Никифоров, Г. Д.** Особенности формирования ванны на весу при сварке тонколистовых материалов световым лучом дуговых ксеноновых ламп / Г. Д. Никифоров, М. И. Опарин, С. А. Федоров // Сварочное производство. – 1978. – № 8. – С. 1–3.

4. **Потапьевский, А. Г.** Сварка в защитных газах плавящимся электродом / А. Г. Потапьевский. – М. : Машиностроение, 1974. – 240 с.

5. Сварка в машиностроении : справочник в 4 т. / Под ред. Г. А. Николаева [и др.]. – М. : Машиностроение, 1978. – Т. 1. – 504 с.

6. **Алекин, Л. Е.** Влияние параметров режима и точности сборки соединения на формирование шва на весу / Л. Е. Алекин, Н. А. Ильенко // Автоматическая сварка. – 1967. – № 1. – С. 19–21.

7. **Эсибян, Э. М.** Аргоно-дуговая сварка продольных швов оболочек малого диаметра / Э. М. Эсибян, Б. И. Шнайдер // Автоматическая сварка. – № 12. – 1964. – С. 17–19.

8. **Рязанцев, В. И.** Аргонодуговая сварка тонкостенных конструкций / В. И. Рязанцев, В. А. Федосеев // Сварочное производство. – 1998. – № 9. – С. 28–32.

9. **Шахматов, М. В.** Нормирование смещения свариваемых кромок в механически неоднородных сварных соединениях / М. В. Шахматов, В. В. Ерофеев, В. В. Коваленко // Сварочное производство. – 2002. – № 8. – С. 12–16.

10. **Львов, Н. С.** Автоматика и автоматизация сварочных процессов : учеб. пособие / Н. С. Львов, Э. А. Гладков. – М. : Машиностроение, 1982.

11. Автоматизация сварочных процессов / Под ред. В. К. Лебедева, В. П. Черныша. – Киев : Вища шк., 1986.

Белорусско-Российский университет
Материал поступил 22.05.2009

D. I. Yakubovich **Influence of accuracy of assemblage on stability of burning of an arch and the geometrical sizes of a seam at welding of thin sheet metal**

Features of process of formation of a welded seam are considered at welding of metal of a small thickness. Efficiency of use of cross-section fluctuations of an electrode concerning an axis of a seam for improvement of quality of welded connection is shown. Admissible values of amplitudes and frequencies of fluctuations of the electrode are defined, allowing to make welding thin sheet connections with infringement of accuracy of assemblage.