

Влияние начального зазора между поверхностями на качество соединений при сварке разнородных металлов высокоскоростным ударом с применением электровзрыва проводника

Л. Ю. Демиденко, Н. А. Онацкая

*Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины,
пр. Октябрьский, 43-А, г. Николаев, 54018, Украина, e-mail: iipr@iipr.com.ua*

Показано влияние начального зазора между свариваемыми поверхностями из разнородных металлов (сталь 20 + медь М1) при сварке высокоскоростным ударом на качество соединений с применением электровзрыва проводника. Установлено, что наиболее качественное сварное соединение, без несплошностей в зоне контакта, образуется при сварке с зазором $h_0 = 4,0$ мм. При этом наблюдается максимальное суммарное волнообразование с волнами различной длины волн, увеличивающее поверхность соприкосновения, что обеспечивает дополнительное механическое сцепление соединяемых металлов.

Ключевые слова: свариваемые поверхности, разнородные металлы, сварка высокоскоростным ударом, электровзрыв проводника, зона контакта, волнообразование, поверхность соприкосновения, механическое сцепление соединяемых металлов.

УДК 621.791.4: 537.5

ВВЕДЕНИЕ

В различных изделиях современной техники характерным является наличие разнородных по свойствам металлов и сплавов [1, 2]. Это позволяет наиболее полно использовать специфические свойства каждого из них, снижать расход дорогих и дефицитных металлов, изготавливать изделия с высокими эксплуатационными качествами и уменьшать их вес.

Поэтому одна из проблем сварочного производства – это разработка новых, эффективных, экологически чистых и малоэнергоёмких технологических процессов получения качественного соединения разнородных металлов. Особое место среди них занимают способы сварки высокоскоростным ударом (ВСУ), которые благодаря чрезвычайной локализации пластической деформации в тонких приповерхностных слоях и кратковременности, исключают возможность развития в зоне соединения рекристаллизационных процессов или образования новых фаз, обеспечивают благоприятные условия для соединения разнородных металлов.

При сварке ВСУ используют разнообразные виды энергии – взрывчатого вещества (ВВ), магнитно-импульсную и электрическую взрыва проводника (ЭВП). При этом косоугольное соударение соединяемых поверхностей – необходимое условие для получения качественных сварных соединений. В зависимости от способа осуществления ВСУ условия косоугольного соударения могут быть обеспечены либо специальным размещением свариваемых поверхностей под углом

друг к другу, либо условиями разгона метаемой детали.

В настоящее время в промышленности применяется ЭВП для сварки труб с трубными решетками теплообменных аппаратов [3]. При этом для реализации условия косоугольного соударения в отверстиях трубной решетки предварительно производится конусная разделка. Рабочим инструментом служит электровзрывной патрон, в котором при электровзрыве проводника происходит непосредственное преобразование электрической энергии в механическую энергию импульса сжатия, воздействующего на внутреннюю поверхность трубы и деформирующего ее.

Процесс ЭВП характеризуется стабильностью воспроизведения режимов, его можно легко автоматизировать, имеется возможность точной дозировки передаваемой энергии, и он достаточно экономичный. Поэтому ЭВП целесообразно использовать для разработки нового способа сварки ВСУ плоских деталей из разнородных металлов [4].

Для сварки ВСУ плоских деталей более предпочтительно давление при электровзрыве проводника в осевом направлении в отличие от сварки осесимметричных деталей.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Для создания этих условий взрыв патрона осуществляли в толстостенной втулке с внешним диаметром 60 мм и внутренним – 20 мм (рис. 1). Внутри втулки располагали электровзрывной патрон разового действия с диаметром рабочей

части (гильзы) 19,5 мм. В качестве взрывающего проводника брали алюминиевую проволоку с унифицированным диаметром 0,8 мм, применяемую для ЭГ запрессовки и сварки труб в трубных решетках теплообменных аппаратов на установках с запасаемой энергией до 20 кДж [3]. Для повышения эффективности энерговыделения в патроне для сварки металлов высокоскоростным соударением использовали взрывающую проволоку в форме спирали. Метаемый образец находился на торцевой части втулки. Для обеспечения косоугольного соударения свариваемые детали размещали под начальным углом α_0 друг к другу (рис. 1).

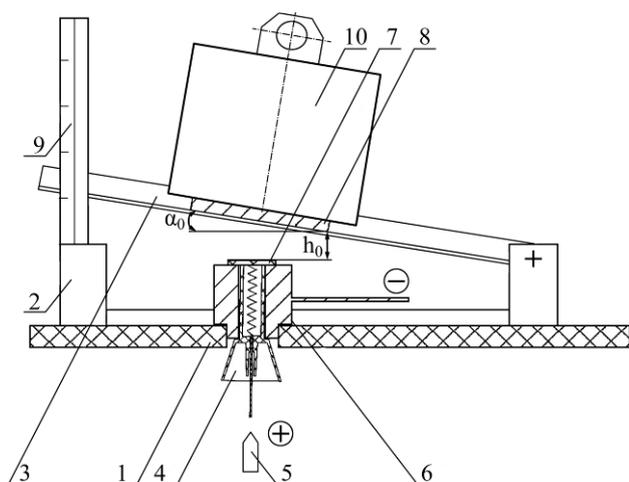


Рис. 1. Устройство для сварки плоских образцов высокоскоростным ударом: 1 – диэлектрическая плита; 2 – рама для крепления свариваемых образцов; 3 – поворотная рама; 4 – электровзрывной патрон; 5 – высоковольтный электрод; 6 – втулка; 7 – метаемый образец; 8 – неподвижный образец; 9 – угломерная линейка; 10 – груз.

Для разгона метаемого элемента под действием импульса давления необходим зазор между свариваемыми поверхностями. Вследствие расположения свариваемых поверхностей под углом α_0 друг к другу фактический зазор различен вдоль диаметра метаемого элемента, и

$$h_{0x} = h_0 + l_x \operatorname{tg} \alpha_0,$$

где h_0 – начальный зазор между свариваемыми поверхностями, мм; l_x – расстояние от вершины угла α_0 до рассматриваемого сечения, мм.

Изменение фактического зазора h_{0x} приводит к изменению скорости соударения, одному из основных динамических параметров, влияющих на качество соединений при сварке ВСУ.

Цель настоящей работы – исследовать влияние начального зазора h_0 между свариваемыми поверхностями из разнородных металлов на качество соединений, полученных при сварке ВСУ с использованием электрического взрыва проводника.

Сварку разнородных металлов ВСУ* с применением ЭВП проводили в приспособлении, представляющем собой рамную конструкцию 2, расположенную на диэлектрической плите 1 (рис. 1). На поворотной раме размещали неподвижную пластину 8 с грузом 10. На диэлектрической плите крепилась толстостенная втулка 6, изготовленная из стали 45 (ГОСТ 1050-88). В отверстии втулки находился электровзрывной патрон разового действия 4. Метаемая пластина 7 располагалась на торцевой части втулки. Угломерная линейка 9 служила для изменения начального угла α_0 между метаемой и неподвижной пластинами. Высоковольтное напряжение подавалось на электрод 5, втулка 6 заземлялась.

Метаемым образцом служила круглая пластина из меди М1 диаметром 20 и толщиной 2 мм. Неподвижным образцом – прямоугольная пластина из стали 20 размером 30×30×6 мм. Контактные поверхности образцов перед сваркой обезжировали ацетоном.

Предварительно качество границы вдоль линии соединения оценивалось с помощью металлографических исследований темплетов, получаемых путем разрезки сварных соединений пополам вдоль движения точки контакта соударяемых поверхностей (оптический микроскоп «Микротех» модели ММО-1600) при 400-кратном увеличении. В случае наличия несплошностей, представлявших собой «микронесплавления», измеряли их ширину при 1000-кратном увеличении в 100 точках, равномерно распределенных вдоль линии соединения. По их результатам определяли долю (в процентном выражении) по линии соединения тех или иных величин ширины несплошностей.

Исследовали влияние начального зазора h_0 на характеристики сварных соединений при его изменении в интервале 2–20 мм при энергии разряда $W = 12,5$ кДж. Согласно результатам исследований, приведенным в работе [5], была выбрана оптимальная величина начального угла $\alpha_0 = 9^\circ$, которая и оставалась неизменной.

Характерный вид линий соединений, полученных при различных значениях начальных зазоров h_0 , представлен на рис. 2.

Согласно металлографическим исследованиям, начальный зазор $h_0 = 2$ мм обеспечивает образование сварного соединения преимущественно с прямолинейной границей, составляющей примерно 93% линии исследуемой зоны сварного соединения, остальное приходится на долю несплошностей. При этом ширина несплошностей варьировалась в интервале 1–3 мкм. Характерный вид линии сварного соединения представлен на рис. 2а.

*Эксперименты по сварке ВСУ проведены мл.н.сотр. В.Д. Половинка.

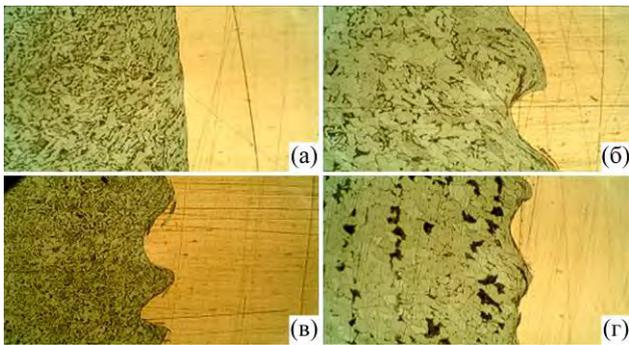


Рис. 2. Линии сварных соединений, полученных при различных h_0 , мм ($\times 400$): (а) – 2; (б) – 4; (в) – 8; (г) – 20.

Увеличение зазора h_0 до 4 мм приводит к получению качественного сварного соединения без несплошностей в зоне контакта, при этом изменяется форма линии соединения – практически по всей длине она приобретает характерное волнообразование (на долю прямой линии приходится менее 1%) (рис. 2б). Видно, что зона соединения имеет четко выраженную границу, переходные слои, окисные пленки и др. в соединении отсутствуют. На вершине волны просматривается «язык» завихрений, свидетельствующий, по всей видимости, о наличии значительных сдвиговых деформаций.

Сварка ВСУ с зазором между пластинами $h_0 = 8$ мм обеспечивает образование сварного соединения почти на 99% длины его линии, однако в зоне контакта отмечаются и отдельные дефекты (несплошности шириной от 3 до 6 мкм). Большая часть линии соединения имеет волнообразование (рис. 2в) с волнами различной длины, а оставшаяся ее часть (48,6%) – прямолинейный характер.

Увеличение зазора между пластинами при сварке ВСУ до $h_0 = 20$ мм также обеспечивает получение сварного соединения, однако его качество еще более ухудшается, поскольку доля несплошностей в зоне контакта увеличивается и составляет более 10% от длины линии соединения. Сварное соединение характеризуется тем, что на долю прямолинейного участка приходится более 54%, а также имеется волнообразование с волнами различной длины (рис. 2г).

Полученные экспериментальные результаты по влиянию начального зазора h_0 между свариваемыми поверхностями из меди М1 и стали 20 на качество соединений представлены в таблице.

Согласно анализу данных таблицы и структур зоны соединений, полученных при разных начальных зазорах, с увеличением начального зазора изменяется не только характер линии соединений от прямолинейного (см. рис. 2а) до волнообразного (см. рис. 2б–г), но и качество сварных соединений. Изменения формы линии соединения и характера волнообразования обус-

ловлены тем, что изменение начального зазора при прочих равных условиях ведет к изменению скорости соударения вдоль диаметра метаемой пластины, которая зависит от времени разгона каждого участка, определяемого величиной h_{0x} .

Влияние начального зазора на качество сварного соединения разнородных металлов М1 + сталь 20

Величина начального зазора h_0 , мм	Характер линии соединения	Наличие несплошностей
2	Прямолинейная, 93%	7% шириной 1–3 мкм
4	Волнообразование, более 99% Прямолинейная, менее 1%	–
8	Волнообразование, 50,4%, Прямолинейная, 48,6%	1% шириной 3–6 мкм
20	Прямолинейная, 54%, Волнообразование, 36%	10% шириной 6–8 мм

Визуальный анализ микроструктур (рис. 2) показывает, что в зоне с волнообразованием структура металла сильно деформирована. Согласно [6] волнообразование является выгодной формой превращения кинетической энергии металлов в работу пластической деформации, характеризующейся строгой периодичностью и регулярностью остаточных напряжений.

В зоне сварки, особенно при больших длинах волн, наблюдается значительная сдвиговая деформация соседних слоев металла (см. рис. 2б). Деформация волн в ряде случаев может приводить к отрыву гребней волн и их сносу (см. рис. 2в). Это явление [7] связано с увеличением тангенциальной составляющей скорости соударения и возникновением тангенциального разрыва между взаимодействующими металлами.

Так как максимальное суммарное волнообразование вдоль линии соединения зафиксировано при зазоре 4 мм, следовательно, он и является наиболее предпочтительным при сварке ВСУ.

На основании результатов экспериментальных исследований была найдена зависимость качества сварных соединений, полученных ВСУ, обусловленным электровзрывом проводника, от начального зазора между свариваемыми пластинами (рис. 3).

Вид кривой, приведенной на рисунке, имеет ярко выраженный максимум при начальном зазоре 4 мм. Это подтверждает вывод о том, что именно при данной величине h_0 обеспечивается получение наиболее качественного сварного соединения без несплошностей в зоне контакта. Причем вся линия соединения имеет характерное волнообразование, которое увеличивает поверхность соприкосновения и этим обеспе-

чивает дополнительное механическое сцепление соединяемых металлов.

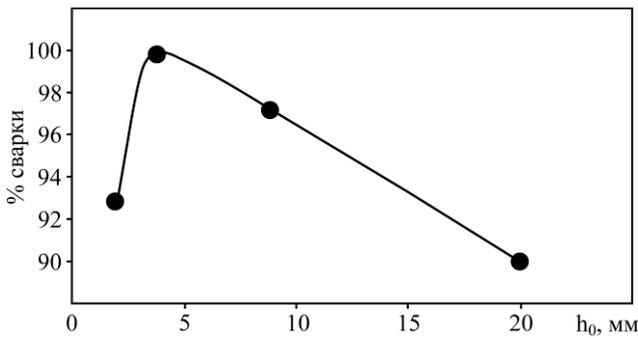


Рис. 3. Качество сварных соединений в зависимости от начального зазора между пластинами.

ВЫВОДЫ

1. На примере сварки ВСУ разнородных металлов (сталь 20+ медь М1) показано влияние начального зазора h_0 между свариваемыми поверхностями на качество полученных соединений.

2. Определено, что при сварке ВСУ с использованием электрического взрыва проводника (при энергии $W = 12,5$ кДж) в зависимости от величины h_0 (в диапазоне его изменения от 2 до 20 мм) изменяются как форма линии соединения, так и волнообразный характер поверхности соединения, связанный с течением пластических деформаций.

3. Установлено, что наиболее качественное сварное соединение без несплошностей в зоне контакта образуется при сварке с зазором $h_0 = 4$ мм. При этом наблюдается максимальное суммарное волнообразование с волнами различной длины, увеличивающее поверхность соприкосновения, что обеспечивает дополнительное механическое сцепление соединяемых металлов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Миддельдорф К., Д. фон Хофе. Тенденция развития технологий соединения материалов. *Автоматическая сварка*. 2008, (11), 39–47.
2. Reisgen U., Stein L., Steiners M. Stahl – Aluminium Mischverbindungen: Schweißen oder Loten? Die Kombination Zweier Etablierter Fuegetechnologien Macht Unmoegliches Moeglich. *Schweißen und Schneiden*. 2010, **62**(5), 278–284.
3. Мазуровский Б.Я. *Электрогидроимпульсная запорессовка труб в трубных решетках теплообменных аппаратов*. К.: Наукова думка, 1980. 172 с.
4. UA 54720 U 2010.11.25, Вовченко А.И., Демиденко Л.Ю., Половинка В.Д., Онацкая Н.А. *Способ сварки высокоскоростным соударением плоских деталей из разнородных металлов*.
5. Вовченко А.И., Демиденко Л.Ю., Онацкая Н.А. Влияние величины начального угла между поверхностями на качество соединений при сварке высокоскоростным ударом с использованием электровзрыва проводника. *Физика и техника высоких давлений*. 2011, **21**(2), 119–125.
6. Петушков В.Г. *Применение взрыва в сварочной технике*. К.: Наукова думка, 2005. 756 с.
7. Патон Б.Е., Медовар Б.И., Саенко В.Я. Самопроизвольная очистка металла от оксидных пленок. *Докл. АН СССР*. 1980, **159**(1), 1117–1118.

Поступила 28.09.12

Summary

The influence of the initial clearance between welding surfaces from dissimilar metals (steel 20 + copper M1) during welding by the high-speed impact on the quality of joints when using an electric explosion of the conductor is explored. It is established that the most qualitative welding joint without discontinuities in the interface area is formed during welding with clearance $h_0 = 4.0$ mm. Thus, the maximum total wave formation including the waves of different lengths is observed. This wave formation enlarges the contact surface, thus providing for additional mechanical adhesion of joined metals.

Keywords: welding surfaces, dissimilar metals, high-speed shock welding, electroexplosion of conductor, contact zone, wave formation, contact surface, mechanical bond of welded metals.