М356157

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

Московское
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени высшее
техническое училище имени Н.Э.Баумана

НА ДОМ НЕ ВЫДАЕТСЯ

На правах рукописи

ХЕЙФЕЦ Александр Львович

СНИЖЕНИЕ РАЗБРЫЗГИВАНИЯ МЕТАЛЛА ПРИ СВАРКЕ КОРОТКОЙ ДУГОЙ В УГЛЕКИСЛОМ ГАЗЕ ОГРАНИЧЕНИЕМ ЭНЕРГИИ ВЗРЫВА ПЕРЕМЫЧЕК

(Специальность 05.04.05. Технология и машины сварочного производства)

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических наук

Москва 1979

Работа выполнена в Челябинском политехническом институте им. Ленинского комсомола.

Научные руководители: к.т.н., доц. Пинчук И.С.
к.т.н., доц. Куликов Г.Д.

Официальные оппоненты: Заслуженный деятель науки и техники РСФСР, д.т.н., проф. Ольшанский Н.А.,
к.т.н., доц. Спицин В.В.

Ведущее предприятие – Уральский автомобильный завод.

Защита диссертации состоится " " _____ 19__ г. на заседании специализированного Совета Д 053.15.07 по технологии и машинам сварочного производства Московского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени высшего технического училища имени Н.Э.Баумана по адресу: Москва, 107005, 2-я Бауманская, дом 5.

Ваши отзывы на автореферат в 2-х экземплярах, заверенные печатью, просим высылать по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МВТУ им. Баумана.

_____.

(О.И.СТЕКЛОВ)

М356157

Объем 1 п.л.

ва, 2-я Бауманская, 5

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Разбрызгивание металла при сварке в CO_2 составляет в среднем 8...I5%. Оно приводит к дополнительным трудозатратам на зачистку изделий в объеме 20...40% от общей трудоемкости сварочных операций и к прямым потерям ежегодно по стране I0...I5 тыс.тонн легированной проволоки.

В настоящей работе рассматривается проблема разбрызгивания при сварке короткой дугой, то есть для области режимов, применяемых для толщин до 4...6 мм, где перенос металла осуществляется в результате периодического образования перемычек между электродом и ванной. Здесь основным подходом к снижению разбрызгивания, как и I5...20 лет назад, является ограничение тока короткого замыкания индуктивностью, реальные возможности которого исчерпаны указанным выше уровнем. Другие известные способы не нашли широкого распространения, поскольку одновременно с уменьшением разбрызгивания, как правило, ухудшают формирование, снижают производительность и, кроме того, оказываются применимы лишь в узкой области режимов. В связи с этим потребовалось более глубокое изучение физических явлений, приводящих к разбрызгиванию, и разработка нового подхода к его снижению.

Целью работы явилось исследование причин и механизма разбрызгивания металла при сварке в углекислом газе короткой дугой и разработка способа снижения разбрызгивания, заключающегося в ограничении энергии взрыва перемычек кратковременным снижением тока к концу каждого короткого замыкания.

Методы исследования включали математическое моделирование явлений, связанных с разбрызгиванием (с использованием ЭВМ), их экспериментальное изучение по осциллограммам тока, напряжения и светового излучения, а также замеры разбрызгивания. Для расширения объема информации осуществлялось активное воздействие на процесс путем зондирования импульсами тока или, напротив, кратковременного снижения тока в необходимые моменты времени. Применялись методы активного планирования эксперимента, киносъемка камерой СКС-IM. Часть экспериментов выполнялась в условиях вибродуговой наплавки.

Научная новизна: а) установлено, что энергия электрического взрыва перемычек обусловлена их нагревом в кратковременный период, длящийся I00...I50 мкс перед моментом возбуждения дуги;

№ 356157

НТБ МГТУ им.Н.Э.Баумана
1356157
Хейфец А.Л.Снижение разбр

б) впервые дана раздельная экспериментальная оценка роли электрического взрыва перемычек и силового действия дуги в разбрызгивании и показана определяющая роль электрического взрыва;

в) выявлена особенность действия сил поверхностного натяжения, состоящая в том, что в течение основного периода каждого короткого замыкания эти силы препятствуют сжатию перемычек, а на конечной стадии становятся сжимающими;

г) показано, что в условиях предложенного способа сварки периодически происходит кратковременное шунтирование перемычки возбуждающейся дугой.

Практическая ценность. Разработан новый способ снижения разбрызгивания и способ стабилизации переноса, позволившие более чем вдвое снизить разбрызгивание в широкой области режимов сварки короткой дугой. Внедрено два устройства для снижения разбрызгивания (на Новосибирском заводе электротермического оборудования и Мелитопольском заводе "Автоцветлит").

Апробация работы. Диссертация заслушана и рекомендована к защите на научных семинарах кафедры сварки ЧПИ им.Ленинского комсомола, МВТУ им. Н.Э.Баумана, РИСХМ"а, расширенном семинаре лаборатории № 25 ИЭС им. Е.О.Патона АН УССР, а также в ОГС Уральского автозавода. Основные положения диссертации были доложены на пяти ежегодных конференциях сварщиков Урала.

Публикации. По теме диссертации опубликовано I2 статей, получено 2 авторских свидетельства и положительное решение по заявке на изобретение.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, трех глав с выводами, раздела внедрения, общих выводов, списка литературы и приложений. Работа изложена на 230 страницах, включая I42 страницы текста, 79 рисунков.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе дана общая характеристика переноса и разбрызгивания металла при сварке короткой дугой, выполнен анализ существующих гипотез о причинах и механизме разбрызгивания и способов снижения разбрызгивания.

Причинам и механизму разбрызгивания посвящены работы И.И.Зарубы, А.Г.Потапьевского, Н.Г.Дюргерова, А.И.Акулова, В.К.Лебедева,

МВТУ
им. Н. Э. Баумана
ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ

Н.Ф.Медведенко, В.В.Степанова, А.М.Попкова, их соавторов, а также ряда зарубежных авторов. Заметное внимание уделяется этому вопросу и в настоящее время, однако единой точки зрения о причинах разбрызгивания нет. К основным причинам относят электрический взрыв перемычки, обусловленный ее нагревом до момента возбуждения дуги, силовое действие дуги, электромагнитные силы. Трудность в оценке достоверности и значимости указанных гипотез состоит в том, что основные известные экспериментальные зависимости, характеризующие разбрызгивание, находят объяснение с позиций каждой из них. В то же время необходимость разработки нового подхода к снижению разбрызгивания потребовала более конкретных представлений о механизме разбрызгивания.

Общей чертой всех известных способов снижения разбрызгивания является уменьшение тока $I_{кз}$ к моменту разрыва перемычки и возбуждения дуги. При ограничении $I_{кз}$ индуктивностью или активным сопротивлением сварочной цепи возникает противоречие с требованиями устойчивости, разрыв перемычки и возбуждение дуги неизбежно происходят при максимальном значении $I_{кз}$. Поэтому в рамках естественного процесса сварки добиться приемлимого разбрызгивания можно лишь в узком диапазоне стабильных режимов, называемых "оптимальными". Однако на этих режимах ухудшается формирование, снижается производительность, осложняется ведение сварки по зазорам.

Разрешить указанные противоречия принципиально оказывается возможным лишь при искусственном формировании закона изменения сварочного тока посредством электронных ключей. Однако известные примеры таких способов обладают рядом недостатков, исключающих возможность их широкого применения при сварке в CO_2 (не учитывается нестабильность переноса, используются жесткие программы и др.).

Выполненный анализ, расчетные оценки и ряд предварительных экспериментов позволили предложить новый способ снижения разбрызгивания, основанный на том, что разбрызгивание обусловлено нагревом перемычки в конце периода короткого замыкания, и предусматривающий в этот период кратковременное снижение тока через перемычку посредством специального тиристорного коммутатора. В результате была сформулирована цель работы и следующие задачи:

а) изучение механизма образования и разрушения перемычек по осциллограммам процесса и путем математического моделирования;

б) оценка роли электрического взрыва перемычки в разбрызгивании;

в) исследование закономерностей действия сил поверхностного натяжения при разрыве перемычки;

г) разработка способа снижения разбрызгивания ограничением энергии взрыва перемычек и исследование его физических и технологических особенностей;

д) исследование причин нестабильности переноса металла и разработка мер по его стабилизации.

В конце главы изложена общая методика работы: получение осциллограмм с помощью осциллографа С8-II, специального высокочастотного шунта, электровакуумного фотоэлемента СЦВ-4. Приводится расчет погрешности определения разбрызгивания (относительная погрешность составляла 5...8%), схема тиристорного коммутатора.

Вторая глава посвящена исследованию причин разбрызгивания и возможности его снижения. Полученные осциллограммы напряжения U, тока I и светового излучения E показывают, что окончание короткого замыкания сопровождается лавинным ростом напряжения (ЛРН) от нескольких вольт до 50...I00 В за время 50...I50 мкс, рис.I. Согласно осциллограммам E световое излучение возникает

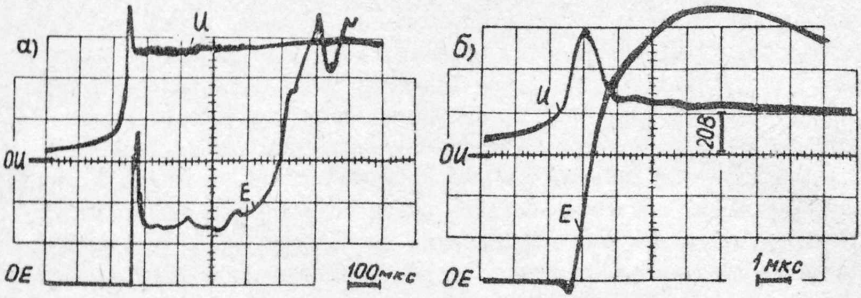


Рис.I. Осциллограммы U и E на конечной стадии разрыва перемычки в начальный период горения дуги

после пикового значения U. С учетом выполненных расчетных оценок это позволило сделать вывод, что причиной ЛРН является возрастание активного сопротивления перемычки вследствие ее сжатия электромагнитными силами.

Возбуждение дуги сопровождается импульсом светового излучения, рис.I,а, передний фронт которого, рис.I,б, длится 2...I0 мкс, задний - 50...I00 мкс. Наличие импульса E в сочетании с па-

раметрами ЛРН и достигаемой плотностью тока в $(0,4...0,9)10^5$ А/мм^2 служат экспериментальным подтверждением взрывного характера разрушения перемычки.

Для оценки роли электрического взрыва в разбрызгивании были расчитаны импульсы сил, действующих на каплю вследствие теплового разрушения перемычки J_p, действия электромагнитных сил $J_{эм}$ и давления дуги $J_д$. При оценке J_p принималось, что нагрев перемычки происходит за период ЛРН, а продукты взрыва представляют собой идеальный газ, расширяющийся в пустоту. Величина $J_д$ определялась за первые 0,5...1 мс горения дуги, поскольку приводимые кинограммы наглядно показывают, что за этот период брызги уже отделяются от электродной капли. Величина $J_{эм}$ определялась в соответствии с размерами перемычки в период ЛРН. Выполненный расчет показал, что импульс, возникающий вследствие теплового разрушения перемычки J_p, на порядок выше значений $J_д$ и $J_{эм}$.

Экспериментальная проверка выполненных расчетов осуществлялась по специальной методике путем зондирования перемычки и дуги импульсами тока амплитудой 1500 А и длительностью 300 мкс, рис.2, подача которых позволяла раздельно воздействовать на энергию взрыва и силовое действие дуги. Первоначально импульсы подавались непосредственно с момента возбуждения дуги, однако разбрызгивание Ψ при этом не возрастало, хотя величина $J_д$ увеличилась в 3...5 раз. При последующем перенесении импульса на период ЛРН происходило возрастание Ψ в той мере, в какой увеличивалась энергия, вводимая в перемычку. Так, при полном перекрытии импульсом периода ЛРН разбрызгивание достигало 80...90% (при неизменных средних значениях сварочного напряжения и тока). И, наконец, при подаче импульсов до ЛРН разбрызгивание возвращалось на исходный уровень. Выполненные расчеты и эксперименты показали, что основной причиной разбрызгивания является электрический взрыв перемычки, обусловленный кратковременным периодом ЛРН, тогда как роль силового воздействия дуги второстепенна.

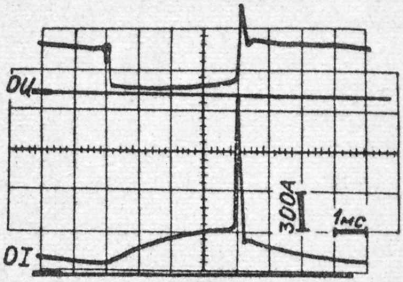


Рис.2. Осциллограммы зондирования импульсами тока

Снизить энергию взрыва можно лишь путем уменьшения тока через перемычку. Для определения возможности разрыва перемычки при одновременном снижении тока был выполнен анализ действия сил поверхностного натяжения. Рассматривалась вариационная задача, позволяющая для заданного радиуса шейки $R_ш$ отыскать форму поверхности перемычки, характеризуемую минимальным значением потенциальной энергии $W_Σ$, слагаемой из энергии сил поверхностного натяжения $W_σ$ и энергии электромагнитных сил $W_м$. Затем для найденной формы поверхности определялись значения $W_Σ$, $W_σ$, $W_м$. Основные результаты анализа качественно отражены на рис.3, где значения энергий приведены в масштабе $M_W = 2\pi\sigma R_э^2$, а радиус шейки $R_ш$ – по отношению к радиусу электрода $R_э$.

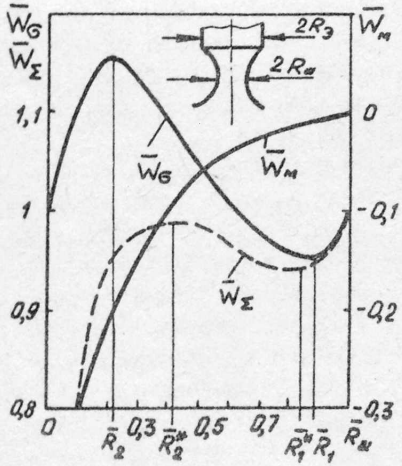


Рис.3. Зависимость $\bar{W}_Σ$, $\bar{W}_σ$, $\bar{W}_м$ от радиуса шейки перемычки при снижении тока до 20...40 А

Если в некоторый момент снизить до нуля ток, протекающий через перемычку, то под действием сил поверхностного натяжения она будет стремиться к состоянию минимума потенциальной энергии $W_σ$. При моменте снижения тока в диапазоне $R_2 < R_ш < R_1$ таким состоянием будет $R_ш = R_1$, то есть перемычка не разрушится. Однако при $0 < R_ш < R_2$ силы поверхностного натяжения будут стремиться разрушить перемычку, см. кривую $\bar{W}_σ$. Если снижение тока осуществлять не до нуля, то момент снижения из условия последующего разрыва перемычки может быть выбран раньше, при $R_ш < R_2^*$, см. кривую $\bar{W}_Σ$.

Значения $R_ш = R_2$ для реальных условий сварки составляют 0,1...0,2 мм. Как показывают расчеты, это практически соответствует началу периода ДРН, когда в перемычке накапливается энергия, приводящая к разбрызгиванию. Следовательно, снизив ток в начале ДРН, можно обеспечить надежный разрыв перемычки силами поверхностного натяжения без взрыва.

Для оценки ожидаемой эффективности предлагаемого способа снижения разбрызгивания было выполнено математическое моделирование динамики конечной стадии разрыва и нагрева перемычки. Форма перемычки на конечной стадии короткого замыкания принималась цилиндрической, учитывалась температурная зависимость поверхностного натяжения и удельного сопротивления. Уравнения динамики были получены исходя из энергетического баланса:

$$\frac{dW_к}{dt} = N_п + N_м + N_c , \qquad (I)$$

где $\frac{dW_к}{dt}$ – скорость изменения кинетической энергии массы перемычки; $N_п, N_м, N_c$ – мгновенная мощность соответственно сил поверхностного натяжения, электромагнитных сил и сил сопротивления, препятствующих истечению металла из перемычки в ванну и каплю.

Изменение температуры металла T во времени t задавалось уравнением:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{\rho I^2}{\pi^2 c \gamma R^4} , \qquad (2)$$

где ρ, c, γ – соответственно удельное сопротивление, теплоемкость и плотность жидкого металла; I, R – мгновенные значения тока, протекающего по перемычке, и радиуса ее поперечного сечения.

Исходя из (I) (2), была получена система дифференциальных уравнений, численное интегрирование которых позволило получить зависимости $R(t)$ и $T(t)$, отражающие динамику разрыва и нагрев перемычки, рис.4. Кривая 1 отражает возрастание температуры T в условиях обычного процесса, при I = 400 А; кривая 2 – при снижении тока на период ЛРН до 20... ...40 А. Предполагая согласно экспериментальным данным, см.рис.I, что взрыв перемычки происходит при достижении U = 50...I00 В, было получено, что к моменту взрыва металл перемычки перегревается до (7...I0)·$I0^3$°С. Объем взрывающейся перемычки, характеризуемый величиной $R_в$, см.рис.4, и накопленная избыточная тепловая энергия снижаются по мере уменьшения тока I через перемычку. Например, согласно

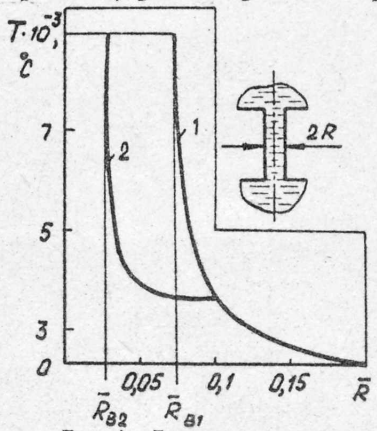


Рис.4. Влияние коммутации тока на динамику нагрева перемычки

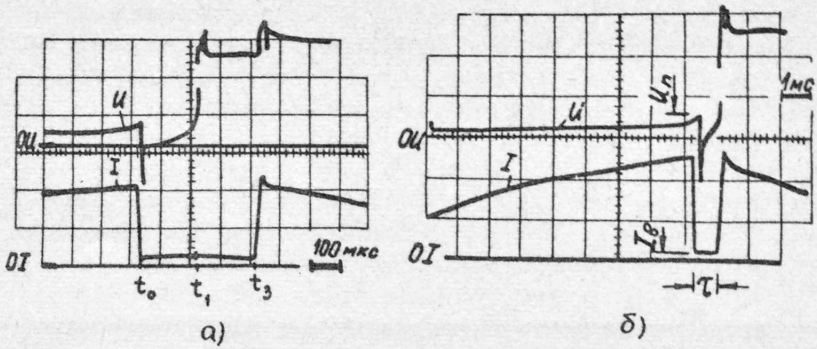
модели коммутация тока с 400 А до 20...40 А позволяла ожидать уменьшения энергии взрыва в 4...5 раз и вследствие этого существенного снижения разбрызгивания.

Было рассмотрено также ожидаемое влияние коммутации тока на динамику разрыва перемычки и сформулированы требования к выбору параметров коммутации.

Экспериментальная проверка теоретических предпосылок нового способа снижения разбрызгивания осуществлялась путем уменьшения тока через перемычку посредством тиристорного коммутатора, который позволял в любой момент времени снизить ток с текущего значения 300...500 А до необходимого значения, в том числе до нуля. Длительность фронта снижения тока не превышала 30...50 мкс. Коммутация первоначально осуществлялась в отдельных, случайным образом выбранных, циклах переноса. Эксперименты подтвердили возможность разрыва перемычки при снижении тока на период ЛРН, подтвердили существование границы сжимающего действия сил поверхностного натяжения, соответствующего значениям R_2 , см.рис.3, а также выявили количественные характеристики процесса разрыва перемычки.

Была проверена также возможность ограничения энергии взрыва путем шунтирования дугового промежутка емкостью на весь период сварки, однако она не дала положительных результатов, поскольку не обеспечивалось достаточно эффективного снижения энергии взрыва, а кроме того затруднялось слияние капли с ванной в начале короткого замыкания.

В третьей главе приведены результаты исследований физических и технологических особенностей процесса сварки с ограничением энергии взрыва перемычек. Процесс сварки протекает следующим образом. В конце короткого замыкания, когда начинается процесс ЛРН, момент t_0 , рис.5,а, срабатывает датчик момента коммутации, управляющий тиристорным коммутатором. При этом осуществляется снижение тока с уровня 300...500 А до величины вспомогательного тока $I_в$ = 20...40 А. Переходный процесс снижения тока заканчивается через 30...40 мкс. Далее разрыв перемычки происходит под действием сил поверхностного натяжения и запасенной кинетической энергии. Ток $I_в$ необходим, главным образом, для возбуждения дуги после разрыва перемычки. Дуга возбуждается в момент t_1 и горит первоначально при токе $I_в$ до момента t_3 , когда заканчивается длительность интервала коммутации τ , и через дуговой промежуток пускается полный ток. В остальной период времени процесс протекает естественным образом, рис.5,б.



а) б)

Рис.5. Осциллограммы напряжения U и тока I процесса с коммутацией

а – внутри интервала коммутации; б – за время короткого замыкания

Эффективность снижения разбрызгиваний по новому способу значительно зависит от условия задания момента начала коммутации тока t_o, рис.5,а. Первоначально t_o задавался пороговым устройством, настроенным заранее на некоторую величину $U_п$, рис.5,б. Однако ввиду нестабильности процесса одно и то же значение $U_п$ для части циклов оказывалось либо преждевременным, и тогда перемычки не успевали разорваться внутри интервала коммутации τ, либо запоздалым, когда к моменту t_o часть периода ЛРН уже прошла, и в объеме перемычки накопилась доля тепловой энергии, приводящей к взрыву. В подобных циклах переноса разбрызгивание снижается не в полной мере. Кроме того требовалась корректировка $U_п$ при перенастройке режима.

Для сведения к минимуму количества отмеченных "ненормальных" коммутаций был разработан и опробован ряд более сложных подходов к заданию момента коммутации t_o : по пороговому значению переменной составляющей величины U, пороговому сопротивлению перемычки, пороговому значению суммарного напряжения, слагаемого из U и dU/dt и др. Наиболее эффективным оказалось задание момента коммутации по пороговому значению сигнала, получаемого на выходе дифференцирующей RC – цепи, подключенной параллельно дуговому промежутку.

Возбуждение дуги при сварке с коммутацией происходит при малом токе $I_в$, рис.5,а. Как и в исходном процессе оно сопровожда-

ется импульсом светового излучения E, рис.6, качественной особенностью которого является наличие вершины длительностью $\tau_в$.

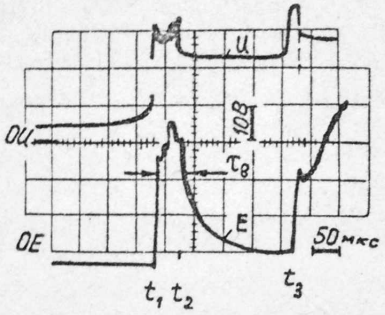


Рис.6. Осциллограммы напряжения U и светового излучения E внутри интервала коммутации

Сопоставление осциллограмм U,I,E позволило предположить, что возбуждение дуги в исследуемом процессе происходит прежде, чем перемычка окончательно разрушается. Вершина светового импульса $\tau_в$ соответствует одновременному существованию перемычки и дуги, которое сопровождается повышенным содержанием паров металла в дуге и, вследствие этого, повышенным уровнем светового излучения. Последующий спад свечения, t_2-t_3, отражает разлет продуктов испарения перемычки. В момент t_3 сигнал E резко возрастает вследствие включения на дугу полного тока.

Предположение о шунтировании было подтверждено в экспериментах по зондированию вспомогательной дуги импульсами тока. Если импульс подавали после вершины $\tau_в$, то разбрызгивание не возрастало, оставаясь на том же уровне (2...3%), который обеспечивался предшествующим снижением тока. Однако при зондировании в моменты, соответствующие вершине светового импульса, разбрызгивание значительно увеличивалось, поскольку подача зондирующего импульса приводила к взрыву не успевшей окончательно разрушиться перемычки.

С увеличением тока $I_в$ длительность вершины $\tau_в$ сокращается, при $I_в$ = (70...80) А вершина исчезает; импульс E становится подобным приведенному на рис.I,а.

В работе приведены экспериментальные зависимости разбрызгивания от параметров коммутации $I_в$, τ, $U_п$ и сформулированы требования к их выбору. Величина $I_в$ задавалась в диапазоне 20... ...40 А. Длительность интервала коммутации τ в окончательном варианте процесса устанавливалась переменной: полный ток через дуговой промежуток подавался сразу же после окончания периода шунтирования. Момент коммутации задавался датчиком в виде порогового устройства по переменной составляющей сигнала U и соот-

ветствовал в среднем уровню U = 5...6 В. Эффективность разработанного способа применительно к процессу вибродуговой наплавки характеризуется снижением потерь на угар и разбрызгивание с 8... ...I5% до 2...3% в широкой области основных технологических режимов.

Было проверено влияние коммутации тока, осуществляемой с целью снижения разбрызгивания, на формирование металла и проплавление. При прочих равных условиях (сварочном токе, среднем напряжении на дуге, скорости сварки и др.) валики, наплавленные с коммутацией, имели значительно меньшую шероховатость, полнее отсутствие выплесков по границе перехода и наплавляемой поверхности. Отмечена меньшая склонность к подрезам. Глубина проплавления снижалась в среднем на 5...7%. Подобное влияние коммутации объясняется снижением импульсных воздействий на металл ванны вследствие устранения взрывов перемычек.

В четвертой главе рассматривается вопрос стабилизации переноса металла. В условиях обычного нестабильного процесса значительно осложняется определение оптимального момента коммутации. Особые трудности возникают из-за большого количества коротких замыканий малой длительности, усиливающих нестабильность и вызывающих крупнокапельное разбрызгивание.

Статистическая обработка осциллограмм напряжения показала, что длительность коротких замыканий $\tau_{кз}$ изменяется в широком диапазоне от единиц мкс до нескольких мс. Внутри этого диапазона имеют место три качественных разновидности: длительные замыкания порядка I мс и более, во время которых происходит перенос металла; кратковременные замыкания в диапазоне 0,I...0,5 мс и замыкания микросекундного диапазона, длительность которых сопоставима с продолжительностью деионизации дугового промежутка при угасании дуги.

В работе приведена математическая модель динамики начальной стадии короткого замыкания, основные выводы из которой заключаются в следующем. При соприкосновении капли с ванной дуга некоторое время горит параллельно с образующейся перемычкой, пока диаметр последней не достигнет $I0^{-5}...I0^{-6}$м. Это косвенно подтверждается наблюдаемой особенностью горения дуги в виде высокочастотных колебаний в сигнале напряжения перед моментом угасания дуги.

"Поведение" микроперемычек, образовавшихся к моменту угасания дуги, определяется величиной комплекса

$$m = \frac{\mu I^2}{4\pi^2 \sigma R_к},$$

где μ – магнитная постоянная, σ – поверхностное натяжение, I – ток, $R_к$ – радиус капли в зоне контакта. При $m > 8$ происходит быстрое разрушение микроперемычки электромагнитными силами, что проявляется в виде замыканий микросекундного диапазона. При $8 > m > 7{,}3$ перемычка первоначально расширяется силами поверхностного натяжения, но, достигнув диаметра порядка 10^{-4}м, становится неустойчивой и разрушается электромагнитными силами – наблюдается кратковременное замыкание длительностью 0,1...0,5 мс. При $m < 7{,}3$ в движение вовлекается вся масса капли, возникают длительные замыкания. В модели дополнительно отражено влияние скорости подачи, которая облегчает взаимное слияние капли с ванной.

С учетом выполненного анализа был предложен способ стабилизации переноса, направленный на устранение замыканий длительностью 0,1...0,5 мс. Для этого в начале каждого соприкосновения капли с ванной осуществляется кратковременное снижение тока, устраняющее электромагнитные силы, которые в начальный период препятствуют слиянию капли с ванной. Методом активного планирования эксперимента были определены оптимальные значения параметров коммутации: момент коммутации задавался пороговым устройством по напряжению, настроенным на 7...10 В, ток снижался до 2...5 А на время 0,5...1 мс. Это позволило реализовать процесс при практическом отсутствии замыканий малой длительности и снизить коэффициент вариации $\tau_{кз}$ более чем вдвое.

Одна лишь стабилизация переноса не приводит к снижению разбрызгивания, однако позволяет эффективнее реализовать рассмотренный выше способ ограничения энергии взрыва перемычек, приводя к дополнительному снижению разбрызгивания в 1,3...1,5 раза.

Процесс со стабилизацией переноса и ограничением энергии взрыва перемычек протекает следующим образом. Первоначально, в момент t_1, рис.7, осуществляется коммутация тока, имеющая цель стабилизировать переход капли в ванну. Затем с момента t_2 процесс протекает как обычно. В конце короткого замыкания, с началом лавинного роста напряжения, момент t_3, осуществляется вторая коммутация с целью предотвратить взрыв перемычки. В момент t_4 возбуждается дуга, что является сигналом окончания коммутации. Как

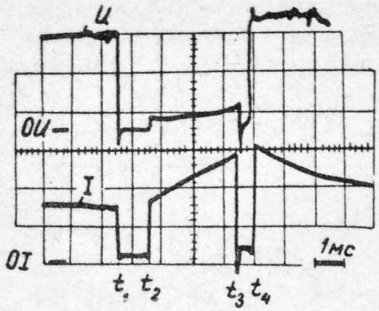


Рис.7. Осциллограммы напряжения U и тока при стабилизированном переносе с ограничением энергии взрыва перемычек

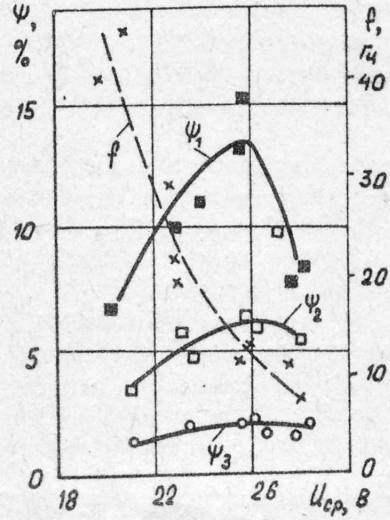


Рис.8. Зависимость потерь на угар и разбрызгивание Ψ от среднего напряжения на дуге $U_{ср}$ Ψ_1 – обычный процесс, Ψ_2 – с коммутацией; Ψ_3 – потери на угар и пылевидные частицы, f – частота переноса

видно, коммутации тока кратковременны, осуществляются в те периоды цикла переноса, которые не связаны с плавлением металла, а поэтому практически не влияют на производительность расплавления и проплавление металла и могут осуществляться при любом режиме сварки, если он находится в области переноса с короткими замыканиями.

На рис.8 отражена достигнутая эффективность разработанного подхода на примере сварки проволокой Св-08Г2С диаметром 1,6 мм, $I_{св}$ = 280 А, скорость подачи 300 м/час, сварки 73 м/час, индуктивность сварочной цепи 0,35 мГн. Из сравнения кривых Ψ_1 и Ψ_2 видно, что практически во всем исследованном диапазоне напряжений на дуге предлагаемые меры позволяют снизить потери на угар и разбрызгивание не менее, чем в два раза. Особенно эффективны они в средней части диапазона, где в обычном процессе наблюдается максимум разбрызгивания. Сопоставление кривых Ψ_2 и Ψ_3 показывает, что резерв дальнейшего снижения разбрызгивания составляет 2...3%. Он вызван остаточной нестабильностью переноса, осложняющей работу тиристорного коммутатора, в результате чего в 10...15% циклов переноса взрыв перемычек устранить пока не удалось, а также причинами разбрыз-

гивания, не связанными со взрывом перемычек. Аналогичные результаты получены и на других режимах сварки короткой дугой, а также для проволоки I,2 мм.

В разделе внедрения рассмотрены конструкции внедренных устройств снижения разбрызгивания.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

I. Основной причиной разбрызгивания металла при сварке короткой дугой является электрический взрыв перемычек, обусловленный их нагревом джоулевым теплом в кратковременный период, длящийся I00...I50 мкс перед моментом возбуждения дуги.

2. Силы поверхностного натяжения на различной стадии короткого замыкания по разному воздействуют на динамику разрыва перемычки. В начальной стадии они способствуют слиянию капли с ванной. В течение основного периода короткого замыкания они препятствуют сжатию перемычки, которое осуществляется электромагнитными силами. На конечной стадии разрыва, когда диаметр шейки достигает 0,3...0,5 мм, направление действия сил поверхностного натяжения вновь меняется; они становятся сжимающими и действуют так до окончательного разрыва перемычки.

3. Предложен и реализован новый способ снижения разбрызгивания, заключающийся в ограничении энергии взрыва перемычек кратковременным снижением тока к моменту их разрыва, отличающийся от известных тем, что момент коммутации определяется по началу лавинного роста сигнала падения напряжения на перемычке.

4. В условиях нового способа, при значениях тока в момент разрыва перемычки от I0 до 60 А, установлена особенность горения дуги, заключающаяся в том, что дуга возбуждается прежде, чем происходит окончательное разрушение перемычки, и имеет место сравнительно длительный, до I00 мкс, период их одновременного существования (шунтирование перемычки дугой).

5. Одной из причин нестабильности переноса металла при сварке в углекислом газе является наличие двух потенциальных барьеров при слиянии капли с ванной. Это проявляется в экспериментально установленном существовании трех, различных по длительности и ряду других признаков разновидностей замыканий дугового промежутка, условно названных микросекундными, кратковременными и длительными.

6. Разработан способ повышения стабильности переноса путем кратковременного снижения тока в начале каждого замыкания дугового промежутка, обеспечивающий слияние капли с ванной практически при каждом их соприкосновении. Это устраняет короткие замыкания малой длительности и более чем вдвое повышает стабильность длительных замыканий.

7. Схема тиристорного коммутатора, а также предложенные методики получения осциллограмм светового излучения и зондирования импульсами тока являются эффективным средством изучения процессов переноса и горения дуги.

8. Выполненные исследования позволяют снизить потери на угар и разбрызгивание более чем в два раза в широкой области режимов сварки короткой дугой, а при стабильных режимах, в том числе при вибродуговой наплавке, довести потери до 2...3%.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

I. Хейфец А.Л., Пинчук И.С., Постаушкин В.Ф. Роль электрического взрыва перемычки и силового воздействия дуги в разбрызгивании металла при сварке с короткими замыканиями. – Автоматическая сварка, 1978, № 10.

2. Пинчук И.С., Хейфец А.Л., Постаушкин В.Ф. Анализ последней стадии разрушения жидкой перемычки при сварке с короткими замыканиями по осциллограммам тока, напряжения и светового излучения дуги. – Сварочное производство, 1978, № 11.

3. Хейфец А.Л. Экспериментальное исследование саморазрушения жидкой перемычки. – В кн.: Вопросы сварочного производства. Труды ЧПИ, № 203. Челяб., 1978, с.122–125.

4. Исследование механизма разрыва жидкой перемычки по световому излучению дуги/ А.Л.Хейфец, И.С.Пинчук, В.Ф.Постаушкин, Г.Д. Куликов. – Там же, с.112–116.

5. Пинчук И.С., Хейфец А.Л., Постаушкин В.Ф. Особенности разрыва перемычки и возбуждения дуги при сварке с систематическими короткими замыканиями при управляемом переносе металла. – Там же, с.117–121.

6. А.с. 563241 (СССР). Способ электродуговой сварки плавящимся электродом с короткими замыканиями дугового промежутка/ Челябинский политехнический ин-т; Авт.изобрет. И.С.Пинчук, В.Ф.Постаушкин, Г.Д.Куликов, Б.В.Худяков, А.Л.Хейфец. – Заявл.25.07.73, № 1946591/27; Опубл.в Б.И.,1977, № 24.МКИ В23К9/00,УДК 621.791.75.

7. Уменьшение разбрызгивания при сварке с короткими замыканиями путем ограничения энергии взрыва перемычки/ И.С.Пинчук, В.Ф.Постаушкин, Г.Д.Куликов, А.Л.Хейфец, Б.В.Худяков. – Сварочное производство, 1976, № 11.

8. А.с. 484055 (СССР). Устройство для дуговой сварки с короткими замыканиями/Челябинский политехнический ин-т; Авт.изобрет. И.С.Пинчук, В.Ф.Постаушкин, Г.Д.Куликов, Б.В.Худяков, А.Л. Хейфец. – Заявл. 25.07.73,№ 1948703/25-27; Опубл. в Б.И., 1975, № 34. МКИ В 23К 9/00, УДК 621.791.037.

9. Модель динамики последней стадии разрушения жидкой перемычки/ И.С.Пинчук, В.Ф.Постаушкин, Г.Д.Куликов, А.Л.Хейфец, Б.В. Худяков. – В кн.: Вопросы сварочного производства. Труды ЧПИ, № 168. Челяб., 1975, с.105-115.

10. Управление переносом металла при сварке с короткими замыканиями/ И.С.Пинчук, В.Ф.Постаушкин, Г.Д.Куликов, А.Л.Хейфец, Б.В.Худяков. – Там же, с.116-123.

11. Устройство контроля за разрушением перемычки при управляемом переносе металла/ И.С.Пинчук, В.Ф.Постаушкин, Г.Д.Куликов, А.Л.Хейфец, Б.В.Худяков. – Там же, с.124-131.

12. Характер действия сил поверхностного натяжения при разрушении перемычки в капле/ И.С.Пинчук, В.Ф.Постаушкин, Г.Д.Куликов, А.Л.Хейфец, Б.В.Худяков. – Автоматическая сварка, 1974,№11.

13. Замечания по статье "Определение устойчивости перемычки между плавящимся электродом и сварочной ванной"/ И.С.Пинчук,В.Ф. Постаушкин, Г.Д.Куликов, А.Л.Хейфец, Б.В.Худяков. – Сварочное производство, 1974, № 10.

14. К вопросу о снижении разбрызгивания металла при сварке с короткими замыканиями/ И.С.Пинчук, В.Ф.Постаушкин, Г.Д.Куликов, А.Л.Хейфец, Б.В.Худяков. – В кн.: Зональная научно-техническая конференция сварщиков Урала. Курган, 1975, с.101-105.

МВТУ
им. Н. Э. Баумана
ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ
БИБЛИОТЕКА