



ИМПУЛЬСНО-ДУГОВАЯ СВАРКА ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ С АВТОМАТИЧЕСКОЙ СТАБИЛИЗАЦИЕЙ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМОВ

П. П. ШЕЙКО, канд. техн. наук, А. М. ЖЕРНОСЕКОВ, Ю. О. ШИМАНОВСКИЙ, инженеры
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Приведены результаты исследований разработанной двухконтурной системы автоматической стабилизации средних значений напряжения на дуге и сварочного тока процесса импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом (ИДСПЭ) с воздействием на параметры импульсов источника питания и скорость подачи электродной проволоки соответственно. Изучено раздельное и совместное влияние возмущающих производственных факторов (изменения вылета электродной проволоки, уменьшения напряжения питающей сети) на процесс ИДСПЭ углеродистых сталей и качество металла швов.

Ключевые слова: импульсно-дуговая сварка плавящимся электродом, возмущающие факторы, углеродистые конструкционные стали, стабилизация процесса, средние значения напряжения на дуге, средние значения сварочного тока, обратные связи, параметры режимов, качество швов

Импульсно-дуговая сварка плавящимся электродом (ИДСПЭ) в смесях газов на основе аргона эффективно применяется во многих отраслях промышленности развитых стран. Этот способ позволяет уменьшать разбрызгивание электродного металла, а также выполнять сварку во всех пространственных положениях, сварку тонколистового металла и многопроходную. Необходимо отметить высокие механические свойства металла швов, полученным способом ИДСПЭ, что обусловлено измельчением микроструктуры с образованием в ней игольчатого феррита [1–7].

В производственных условиях процесс ИДСПЭ подвержен влиянию различных возмущающих факторов [8, 9], которые изменяют основные энергетические параметры сварки — средние значения сварочного тока $I_{св.ср}$ и напряжения на дуге $U_{д.ср}$,

что приводит к нестабильности геометрических размеров швов и появлению в них дефектов.

В ИЭС им. Е. О. Патона разработан новый вариант построения систем стабилизации процесса ИДСПЭ [9]. В настоящей работе приведены результаты исследований влияния на стабильность показателей качества процесса ИДСПЭ при действии на него как отдельных возмущающих факторов (изменения вылета электродной проволоки, напряжения питающей сети, превышение высоты кромок), так и их одновременном комплексном действии разработанной двухконтурной системы автоматической стабилизации средних значений напряжения на дуге и сварочного тока с воздействием на параметры импульсов тока источника питания и скорость подачи электродной проволоки соответственно. При этом использовался разработанный в ИЭС им. Е. О. Патона импульсный источник питания с плавной регулировкой параметров импульсов типа И-169. В экспериментах применяли сварочную головку типа ГСУ-7 с системой управления БАРС-2В. Наплавку выполняли на плас-

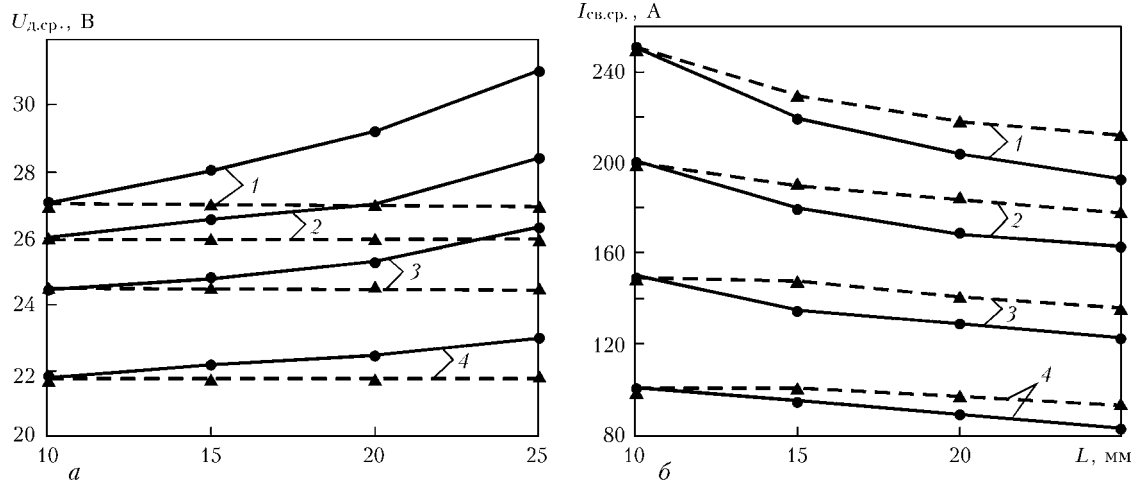


Рис. 1. Зависимость средних значений напряжения на дуге $U_{д.ср}$ (а) и сварочного тока $I_{св.ср}$ (б) (режимы 1–4) от вылета электрода $L = 10...25$ мм при ИДСПЭ стали Ст3 в смеси газов 82 % Ar + 18 % CO₂ проволокой Св-08Г2С диаметром 1,2 мм без системы стабилизации (●) и со стабилизацией напряжения и тока (▲)

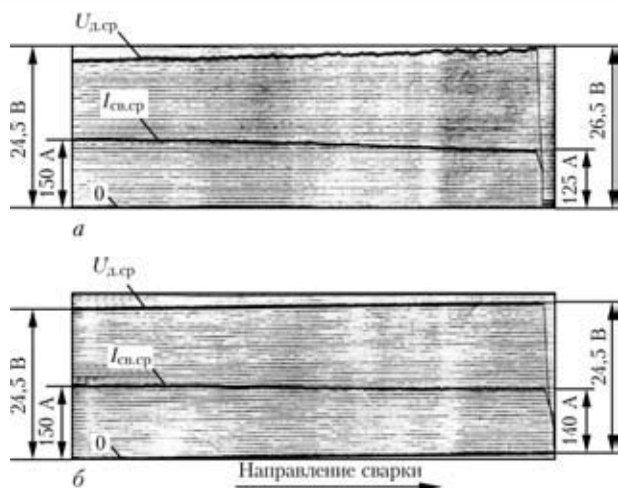


Рис. 2. Осциллограммы средних значений сварочного тока $I_{св,ср}$ и напряжения на дуге $U_{д,ср}$ при изменении вылета электродной проволоки в пределах 10...25 мм без системы стабилизации (а) и со стабилизацией напряжения и тока (б)

тины из стали Ст3 толщиной 10; 20 мм в смеси 82 % Ag + 18 % CO₂ проволокой Св-08Г2С диаметром 1,2 мм, скорость сварки составляла 21 м/ч.

В результате проведенных экспериментальных исследований получены зависимости между основными энергетическими параметрами процесса ИДСПЭ ($U_{д,ср}$, $I_{св,ср}$) и наиболее часто действующим в производственных условиях возмущающим фактором — изменением вылета электродной проволоки L . Семейство этих зависимостей, полученных при различных значениях $U_{д,ср}$, $I_{св,ср}$, L при ИДСПЭ без системы стабилизации и со стабилизацией, представлено на рис. 1. На рисунке кривые 1 (●) показывают характер и пределы изменения значений $U_{д,ср}$, $I_{св,ср}$ без применения системы стабилизации (начальные значения $U_{д,ср} = 27$ В; $I_{св,ср} = 250$ А). При этом сварочный ток уменьшается до 195 А. Как видно из рис. 1, изменение $U_{д,ср}$ составило 4 В, а $I_{св,ср}$ — 55 А при максимальном вылете электродной проволоки 25 мм. Кривые 1 (▲) иллюстрируют те же зависимости при тех же начальных условиях, но при использовании системы автоматической стабилизации. Значения $U_{д,ср}$ практически не изменились, а значения $I_{св,ср}$ изменились максимум на 35 А при $L = 25$ мм.

Такие же зависимости $U_{д,ср} = f(L)$, $I_{св,ср} = f(L)$ получены также для других начальных значений $U_{д,ср}$, $I_{св,ср}$ (см. рис. 1). Характер зависимостей аналогичен, как и в случае $U_{д,ср} = 27$ В, $I_{св,ср} = 250$ А. При работе на более низких режимах точность стабилизации повышается.

На рис. 2 приведены осциллограммы $I_{св,ср}$ и $U_{д,ср}$ процесса ИДСПЭ при изменении вылета электродной проволоки L в пределах 10...25 мм. Длительность импульсов тока составляла $3,4 \cdot 10^{-3}$ с, частота их следования — 68 Гц. Как видно из рис. 2, а, увеличение вылета электродной проволоки приводит к повышению напряжения на дуге и уменьшению тока сварки. Причем изменения напряжения на дуге заметно возрастают в конце процесса, поскольку происходит существенное падение напряжения на вылете электродной проволоки, что ха-

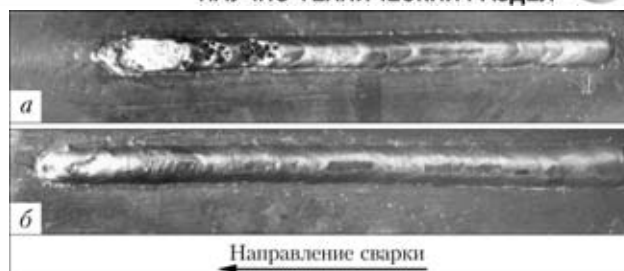


Рис. 3. Внешний вид швов при наплавке способом ИДСПЭ в случае изменения вылета электрода в пределах 10...25 мм (а, б — см. рис. 2)

рактерно для стальных проволок [10]. Использование обратных связей позволяет уменьшить влияние вылета электродной проволоки, стабилизировать заданные значения $U_{д,ср}$ и уменьшить снижение значений $I_{св,ср}$ (рис. 2, б). Внешний вид швов, выполненных на указанном выше режиме, приведен на рис. 3. Шов на рис. 3, а имеет неравномерное формирование по длине, в конце шва расположен участок пор, выходящих на поверхность. Это обусловлено повышением напряжения на дуге, что свидетельствует о ее удлинении при увеличении вылета электродной проволоки. Шов на рис. 3, б, выполненный с системой стабилизации, отличается отсутствием пор и других дефектов, стабильной шириной и равномерным формированием по всей длине.

На рис. 4 представлены продольные разрезы швов, показанных на рис. 3. Из рис. 4, а видно, что глубина проплавления нестабильна, ее изменение зависит от вылета электродной проволоки. При этом имеют место непровары или прожоги, а также дефекты типа внутренних пор. Особенно важным результатом данной работы для сварки в производственных условиях является то, что применение разработанной системы автоматической стабилизации позволяет при изменении вылета электродной проволоки стабилизировать глубину

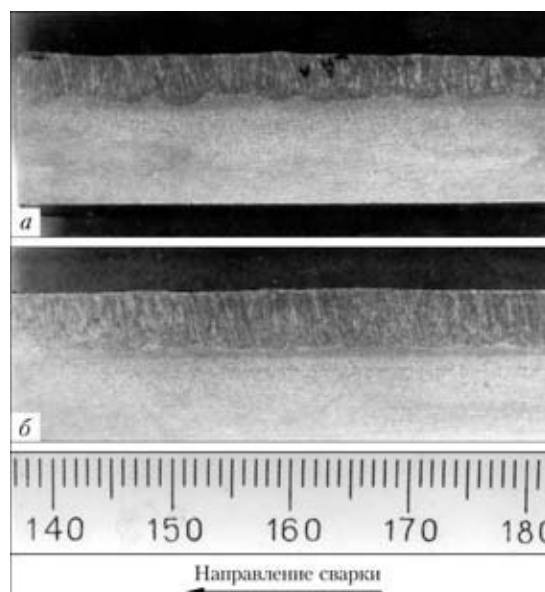


Рис. 4. Изменения глубины проплавления швов, выполненных способом ИДСПЭ при увеличении вылета электродной проволоки (а, б — см. рис. 2)

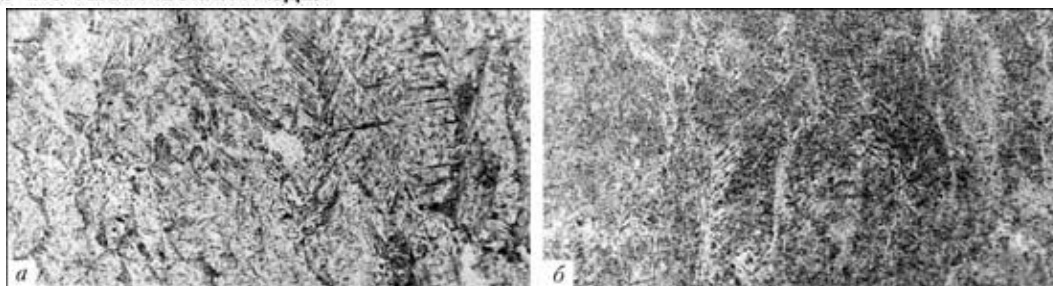


Рис. 5. Микроструктура ($\times 200$) участка в центре металла шва (ближе к окончанию наплавки), выполненного способом ИДСПЭ (*a, б* – см. рис. 2)

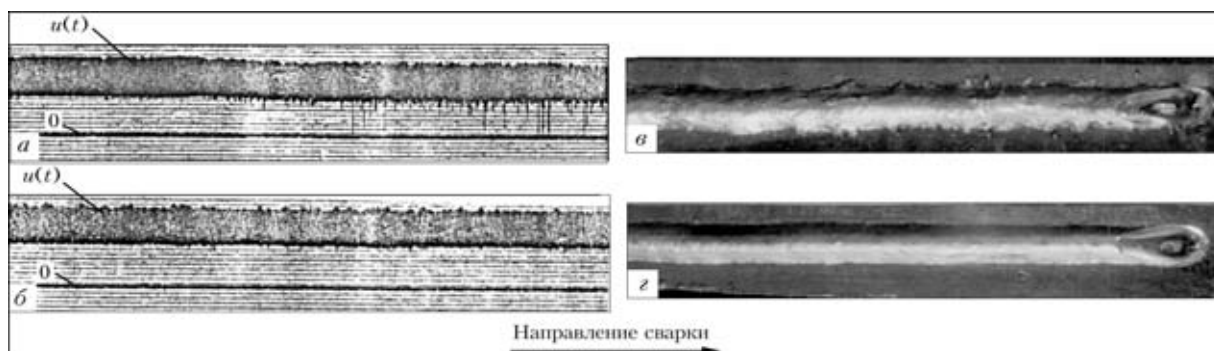


Рис. 6. Осциллограммы текущих значений напряжения (*a, б*) на дуге $u(t)$ и внешний вид швов, полученных способом ИДСПЭ при плавном снижении напряжения от 380 до 350 В без системы стабилизации (*a, в*) и со стабилизацией напряжения и тока (*б, з*)

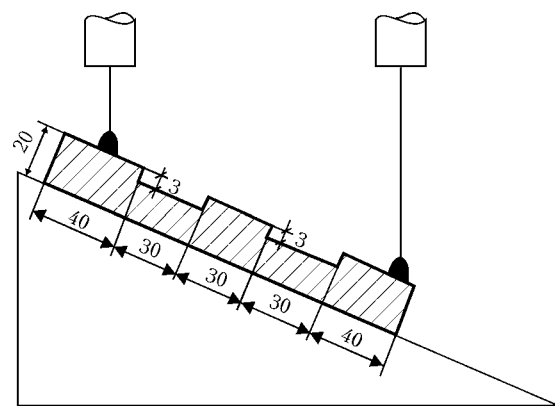


Рис. 7. Схема проведения наплавки при одновременном действии нескольких возмущающих факторов

проплавления по всей длине шва и исключить появление в нем дефектов (рис. 4, б).

Проведенные металлографические и рентгенографические исследования позволяют заключить, что при увеличении вылета электрода более чем на 50 % номинального существенно увеличивается вероятность появления дефектов типа трещин, неплавления, нестабильной ширины шва и глубины провара. Кроме того, увеличивается количество мартенситной составляющей в металле шва (рис. 5, *a*) и уменьшается балл зерна в зоне термического

влияния до 5 (по ГОСТ 5639–82), что приводит к увеличению твердости металла шва и уменьшению его вязкости. При увеличении вылета электродной проволоки на 80 % и выше номинального значения возрастает вероятность появления грубых дефектов типа пор (см. рис. 3, *a*).

При работе системы стабилизации отмечаются равномерная чешуйчатость и плавный переход к основному металлу даже при изменении вылета более чем на 80 % (см. рис. 3, *б*). Микроструктурные составляющие в данном случае мелкодисперсные и однородные по всей длине шва, состоящие из верхнего и нижнего бейнита с участками феррита (см. рис. 5, *б*). Балл зерна в зоне термического влияния равен 8 (по ГОСТ 5639–82).

Для исследования влияния изменений напряжения питающей сети на процесс ИДСПЭ применяли потенциал-регулятор, осуществляющий плавную регулировку выходного напряжения, которое использовали как входное напряжение импульсного источника питания И-169. В таблице представлены изменения режимов наплавки при снижении напряжения питающей сети. На рис. 6, *a, б*, приведены осциллограммы текущих значений напряжения на дуге $u(t)$ при плавном снижении напряжения сети от 380 до 350 В. Как видно из рис. 6, *a*, уменьшение напряжения сети приводит к снижению напряжения на дуге и возникновению коротких замыканий, т. е. к нарушению процесса переноса по принципу «1 импульс–1 капля». Внешний вид швов, наплавленных при снижении напряжения сети, представлен на рис. 6, *в, з*. Валик, показанный на рис. 6, *в*, имеет грубочешуйчатое формирование со значительными изменениями ширины шва и повышенным уровнем набрызгивания. Применение системы стабилизации устраняет короткие замыкания, связанные с понижением напряжения питания (рис. 6, *б*), что позволяет по-

Изменение параметров режима ИДСПЭ при понижении напряжения питающей сети

Напряжение питающей сети, В	Напряжение на дуге, В	Сварочный ток, А	Частота следования импульсов тока, Гц
380	26,0	220	92
350	23,5	230	68

Примечание. Длительность импульсов тока составляла $3,2 \cdot 10^{-3}$ с.

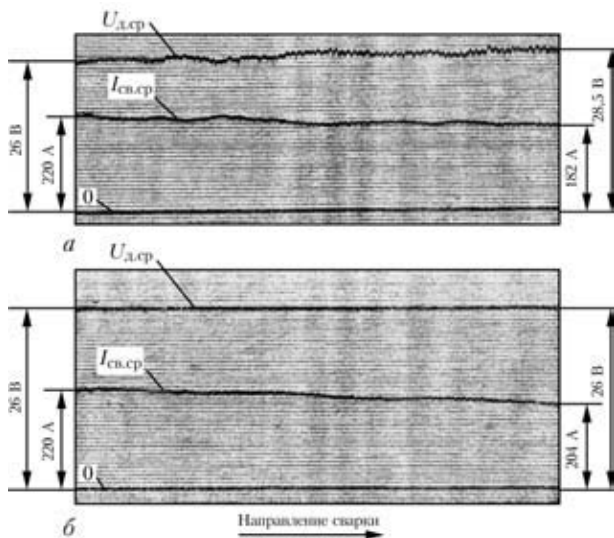


Рис. 8. Осциллограммы $I_{св,ср}$ и $U_{д,ср}$ при наплавке способом ИДСПЭ по схеме рис. 7 (а, б — см. рис. 2)

лучать равномерные по всей длине мелкочешуйчатые валики с плавным переходом к основному металлу и без набрызгивания (рис. 6, з).

Исследовано одновременное действие нескольких возмущающих факторов — изменения вылета электродной проволоки в пределах 10...25 мм, уменьшения напряжения питающей сети до 350 В, превышения высоты кромок до 3 мм — при ИДСПЭ по схеме рис. 7. Начальные условия сварки: напряжение питающей сети 350 В; напряжение на дуге 26 В; сварочный ток 220 А; длительность импульсов тока $3,2 \cdot 10^{-3}$ с; частота следования импульсов 87 Гц; скорость сварки 21 м/ч.

На рис. 8 представлены осциллограммы средних значений напряжения на дуге и сварочного тока при ИДСПЭ по схеме рис. 7. Как видно из рис. 8, а при комплексном действии указанных возмущающих факторов без системы стабилизации изменения значений $I_{св,ср}$ и $U_{д,ср}$ существенно возрастают. Следствием этого являются значительное разбрызгивание и набрызгивание металла, изменения ширины шва и некачественное его формирование, образование наплывов и неравномерность перехода от шва к основному металлу (рис. 9, а).

При автоматической стабилизации средних значений напряжения на дуге и сварочного тока с помощью разработанной двухконтурной системы возможно получение швов с хорошим формированием даже при одновременном действии ряда возмущающих факторов (рис. 9, б).

Выводы

1. Применение разработанной системы автоматической стабилизации $U_{д,ср}$ и $I_{св,ср}$ процесса ИДСПЭ при изменениях вылета электродной проволоки поз-

The paper gives the results of studying the influence of a two-loop system for automatic stabilization of average values of arc voltage and welding current in pulsed-arc welding on the parameters of the power source pulses and electrode wire feed rate. Separate and combined influence of the disturbing production factors (change of the electrode stick-out, lowering of mains voltage) on the process of consumable-electrode pulsed-arc welding of low-alloyed steels and quality of weld metal has been studied.

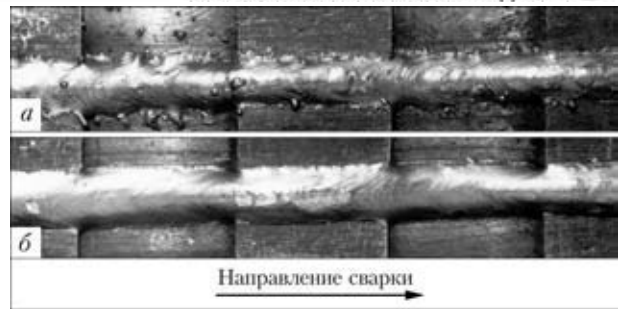


Рис. 9. Внешний вид швов при наплавке способом ИДСПЭ по схеме рис. 7 при одновременном действии нескольких возмущающих факторов (а, б — см. рис. 2)

воляет избежать появления дефектов типа пор, несплавлений, неравномерностей формирования швов, обеспечивает стабильность глубины проплавления.

2. С помощью системы стабилизации можно компенсировать понижение напряжения на дуге, вызванное уменьшением напряжения питающей сети, устранить короткие замыкания и вызванные ими нарушения капельного переноса металла, уменьшить разбрызгивание и набрызгивание, а также улучшить качество формирования швов.

3. При одновременном комплексном действии нескольких возмущающих факторов разработанная двухконтурная система автоматической стабилизации позволяет получать без разбрызгивания и дефектов швы, имеющие стабильные геометрические параметры.

1. Импульсно-дуговая сварка низколегированных сталей плавящимся электродом в смеси аргона с углекислым газом // С. Т. Римский, В. Г. Свещинский, П. П. Шейко и др. // Автомат. сварка. — 1993. — № 2. — С. 38–41.
2. Шейко П. П., Жерносеков А. М., Шевчук С. А. Технологические особенности сварки плавящимся электродом низколегированных сталей с чередующейся подачей защитных газов // Там же. — 1997. — № 8. — С. 32–36.
3. Бучинский В. Н., Воронай Н. М. Особенности импульсно-дуговой сварки сталей в смеси аргона с углекислым газом // Там же. — 1978. — № 3. — С. 42–45.
4. Aiechele G. Use of the pulsed technique-active-gas metal-arc welding // Schweissen und Schneiden. — 1990. — № 4. — С. 62–63.
5. Dorling D. Applying pulsed GMA welding to pipeline construction // Welding J. — 1992. — № 10. — P. 39–44.
6. Di Pietro D., Young J. Pulsed GMAW helps John deer meet fume requirements // Ibid. — 1996. — № 10. — P. 57–58.
7. Pereira W. A., Ferraresi V. A. Estudo dos Parametros que Influenciam a Instabilidade do Cordao em Soldagem MIG Pulsada Automatizada // Soldagem & Inspecao. — 2000. — № 12. — P. 25–30.
8. Патон Б. Е., Лебедев В. К. Электрооборудование для дуговой и шлаковой сварки. — М.: Машиностроение, 1966. — 359 с.
9. Стабилизация процесса импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом / Б. Е. Патон, П. П. Шейко, А. М. Жерносеков, Ю. О. Шимановский // Автомат. сварка. — 2003. — № 8. — С. 3–6.
10. Лебедев А. В. Влияние тепловыделения в вылете на процесс саморегулирования дуги // Там же. — 1978. — № 7. — С. 10–15.

Поступила в редакцию 10.10.2003