



ВЛИЯНИЕ СОСТАВА СЕРДЕЧНИКА ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ И ЗАЩИТНОГО ГАЗА НА СТАБИЛЬНОСТЬ ПРОЦЕССА ДУГОВОЙ СВАРКИ

В. Н. ШЛЕПАКОВ, д-р техн. наук, **А. С. КОТЕЛЬЧУК**, **С. М. НАУМЕЙКО**, кандидаты техн. наук,
А. В. БИЛИНЕЦ, инж. (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Представлены результаты исследований процесса дуговой сварки порошковыми проволоками типа металл-кор в защитных газах. На основе анализа данных мониторинга электрических сигналов установлено влияние минеральных составляющих сердечника порошковой проволоки и состава защитного газа на стабильность горения дуги и характер переноса металла.

Ключевые слова: дуговая сварка, порошковая проволока с металлическим сердечником, защитный газ, электрические сигналы, статистическая обработка, исследования стабильности процесса

Особенности горения дуги, плавления и переноса металла при сварке в защитных газах проволоками сплошного сечения и порошковыми проволоками достаточно подробно освещены в работах [1–3]. В них отмечено, что стабильность процесса сварки и характер переноса электродного металла существенно зависят от химического состава проволоки, режима сварки, полярности тока и применяемого защитного газа [1, 2]. В последнее десятилетие получила распространение сварка в защитных газах проволокой с металлическим сердечником [3] с малой (до 2 %) массовой долей неметаллических составляющих. Однако особенности процесса дуговой сварки проволоками этого типа исследованы недостаточно.

Для оценки влияния малых добавок неметаллических минеральных компонентов в сердечнике на технологические свойства исследован процесс сварки в углекислом газе и смеси 80 % Ar + 20 % CO₂ порошковыми проволоками с металлическим сердечником различного состава. В качестве базовой взята порошковая проволока указанного типа диаметром 1,2 мм, в сердечнике которой отсутствуют минеральные составляющие. Исследовали влияние добавок в сердечнике проволоки таких минеральных компонентов, как оксид титана, фториды щелочных и щелочноземельных металлов. Массовая доля минеральной составляющей проволоки сердечника равнялась 0,6 % для четырех исследованных составов: рутила (TiO₂), смесь рутила и флюорита (TiO₂:CaF₂ — 3:1), смесь рутила и гексафторсиликата натрия (соотношение компонентов TiO₂:Na₂SiF₆ — 3:1) и смесь рутила, гексафторсиликата натрия и фторида цезия (TiO₂ + Na₂SiF₆ + CsF — 6:2:1).

Сварку выполняли на постоянном токе (обратная полярность) с использованием механизма подачи проволоки с максимальными отклонениями скорости ±1,5 % и источника питания сварочной

дуги ВС-500 с жесткой внешней характеристикой. Состав защитного газа (углекислый газ и смесь 80 % Ar + 20 % CO₂) по содержанию примесей удовлетворял требованиям существующих стандартов. При выполнении опытных сварок напряжение на дуге составляло $U_d = 24...26$ В, сварочный ток — $I_{св} = 260...290$ А, расход защитного газа — 18 л/мин.

Основные параметры процесса дуговой сварки измеряли с использованием системы регистрации и анализа электрических сигналов — анализатора «Ганновер АН-ХП» [4, 5]. В процессе измерений определяли плотность распределения вероятности напряжения на дуге и сварочного тока, а также частоту коротких замыканий и средневзвешенное время горения дуги. Частота съема данных составляла $5 \cdot 10^5$ с⁻¹, а продолжительность непрерывной регистрации параметров при опытных сварках во всех случаях — 2 с. Результаты измерений обрабатывали с помощью методов математической статистики [6].

Для анализа результатов брали вычисленные средние значения напряжения на дуге и сварочного тока вместе с их стандартными отклонениями и коэффициентами вариации. По этим данным строили кривые плотности вероятности и получали временные характеристики (в частности, длительность коротких замыканий, средневзвешенное время горения дуги). Результаты статистической обработки параметров дуговой сварки (сварочного тока $I_{св}$, напряжения на дуге U_d и длительности коротких замыканий $\tau_{к.з}$) порошковыми проволоками с металлическим сердечником, полученные с помощью анализатора «Ганновер АН-ХП», приведены в таблице и на рис. 1–5.

Сопоставление данных, полученных при сварке в углекислом газе и смеси 80 % Ar + 20 % CO₂, показало, что характер плавления и переноса электродного металла существенно изменяется независимо от состава минеральной добавки в сердечнике порошковой проволоки. Из таблицы и рис. 1–5 видно, что замена углекислого газа на его смесь с аргоном приводит к уменьшению средней длительности коротких замыканий — от 0,4...11,0 мс до практически полного их исчезно-



Статистические характеристики процесса сварки порошковыми проволоками с металлическим сердечником в защитных газах на различных режимах

Минеральная составляющая сердечника	Защитная среда	$U_{д}^{ср}$, В	S_U , В	K_U , %	$I_{св}^{ср}$, А	S_I , А	K_I , %	$\tau^{сум}$, мс	$\tau^{ср}$, мкс	K_{τ}
Нет	CO ₂	24,8	1,8	0,07	268,2	39,6	0,15	0,8	400	1,24
		24,7	1,9	0,08	272,5	43,2	0,16	0,4	100	0,58
	80 % Ar + 20 % CO ₂	24,9	0,7	0,03	261,7	15,8	0,06	0	0	∞
TiO ₂	CO ₂	24,9	2,2	0,09	285,0	45,0	0,16	2,0	177,3	1,04
		25,4	2,1	0,08	270,6	43,0	0,16	0,6	183,3	0,31
	80 % Ar + 20 % CO ₂	24,8	0,7	0,03	275,4	16,8	0,06	0	0	∞
TiO ₂ + Na ₂ SiF ₆	CO ₂	25,0	2,4	0,10	276,9	40,9	0,15	11,0	423,1	1,73
	80 % Ar + 20 % CO ₂	25,4	0,7	0,03	295,6	18,9	0,06	0	0	∞
TiO ₂ + CaF ₂	CO ₂	24,4	1,5	0,06	293,3	25,6	0,09	0	0	∞
		24,8	1,5	0,06	277,9	30,2	0,11	0	0	∞
	80 % Ar + 20 % CO ₂	24,2	0,5	0,02	231,0	21,5	0,09	0	0	∞
TiO ₂ + CaF ₂ + CsF	CO ₂	25,1	1,6	0,06	301,3	31,8	0,11	2,1	210	1,29
		24,9	1,1	0,07	266,8	22,0	0,08	0	0	∞
	80 % Ar + 20 % CO ₂	24,6	0,5	0,02	278,2	15,0	0,05	0	0	∞

Примечание. $U_{д}^{ср}$, $I_{св}^{ср}$, $\tau^{ср}$ — средние значения соответственно напряжения на дуге, сварочного тока и длительности коротких замыканий; S_U , S_I — стандартные отклонения значений соответственно напряжения на дуге и сварочного тока; $\tau^{сум}$ — суммарная продолжительность коротких замыканий; K_U , K_I , K_{τ} — коэффициенты вариации соответственно напряжения на дуге, сварочного тока и длительности коротких замыканий; для сварки в углекислом газе приведены два типичных набора параметров режима, поскольку при данном способе сварки процесс менее стабилен, чем при сварке в смеси 80 % Ar + 20 % CO₂.

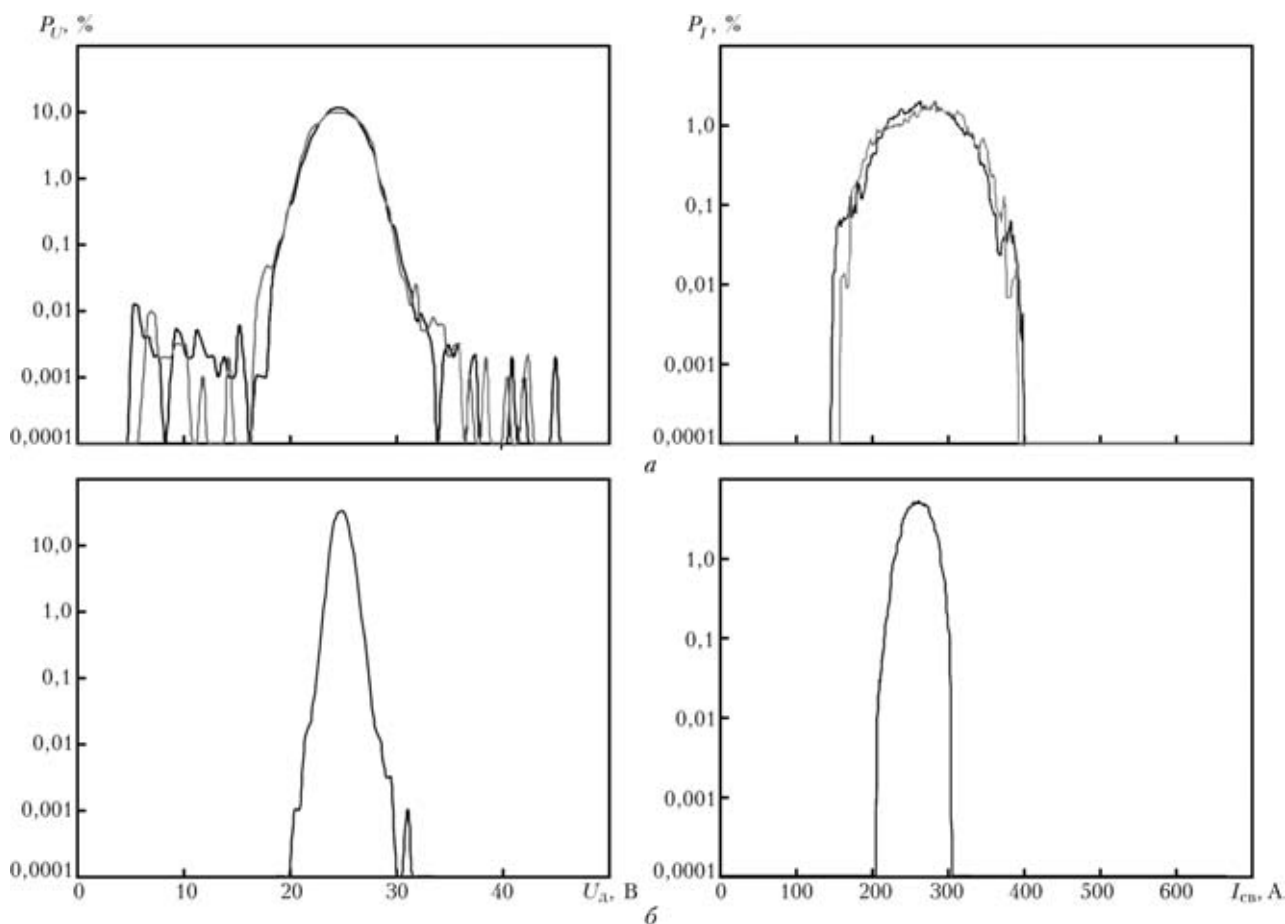


Рис. 1. Кривые распределения плотности вероятности напряжения P_U и сварочного тока P_I при дуговой сварке порошковой проволокой с металлическим сердечником, не содержащим минеральных компонентов. Здесь и на рис. 2-5: а — CO₂; б — смесь 80 % Ar + 20 % CO₂; две кривые — результаты двух измерений

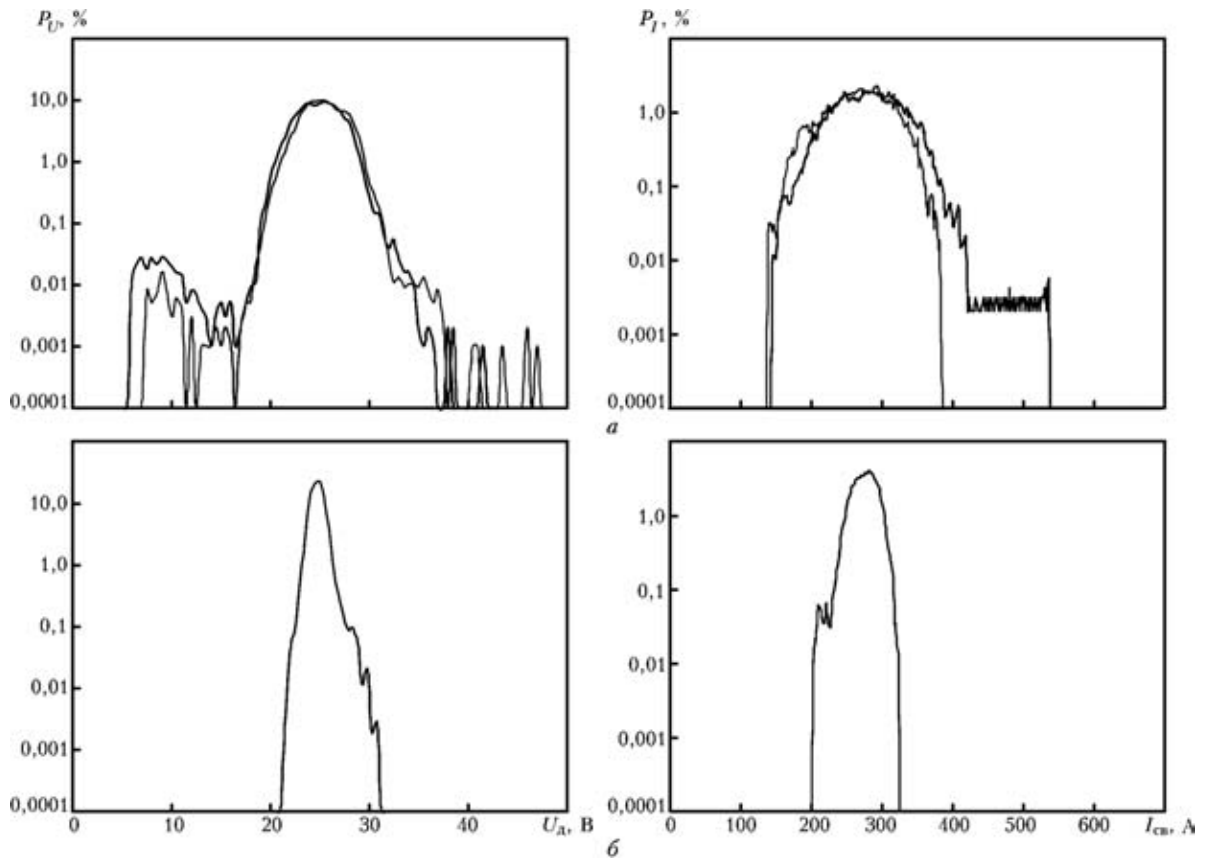


Рис. 2. То же, что и на рис. 1, но для проволоки, содержащей рутил

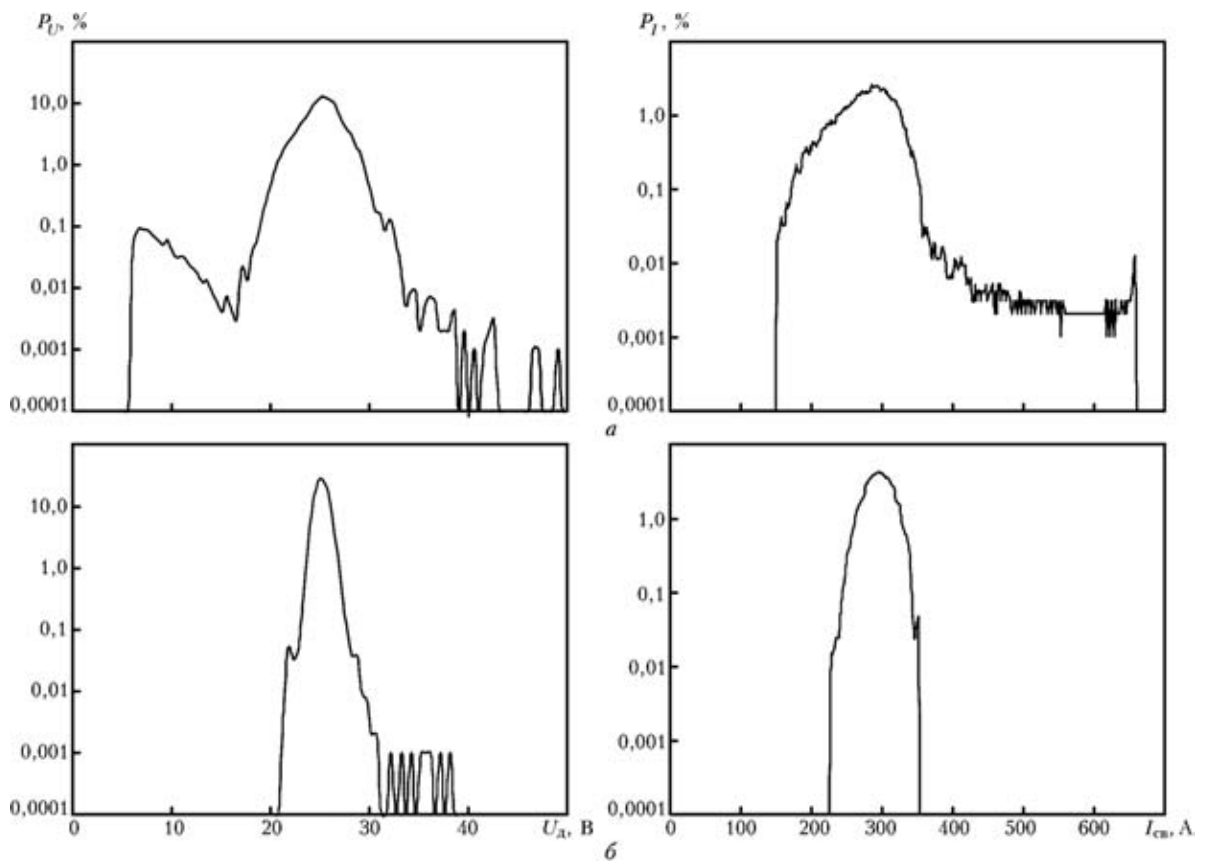


Рис. 3. То же, что и на рис. 1, но для проволоки, содержащей смесь рутила и гексафторсилката натрия

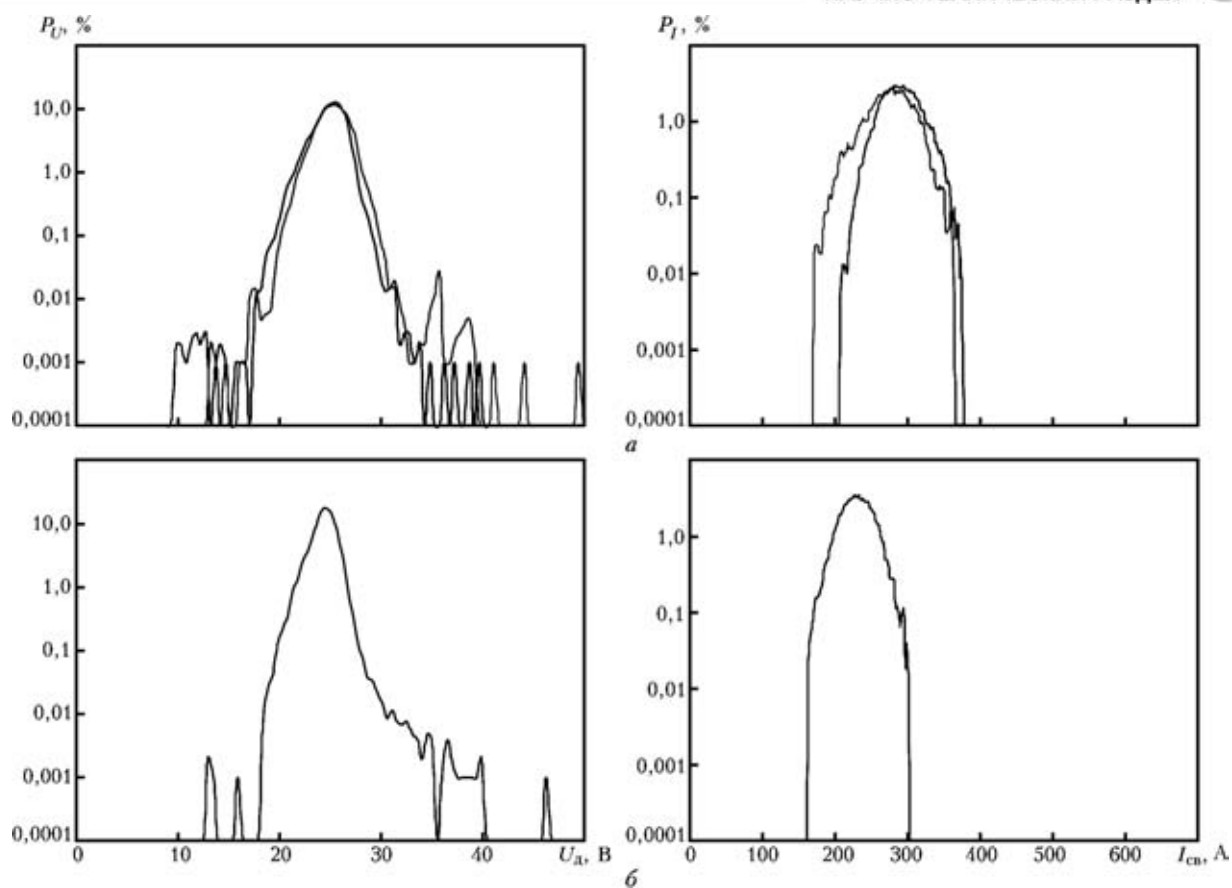


Рис. 4. То же, что и на рис. 1, но для проволоки, содержащей смесь рутила и флюорита

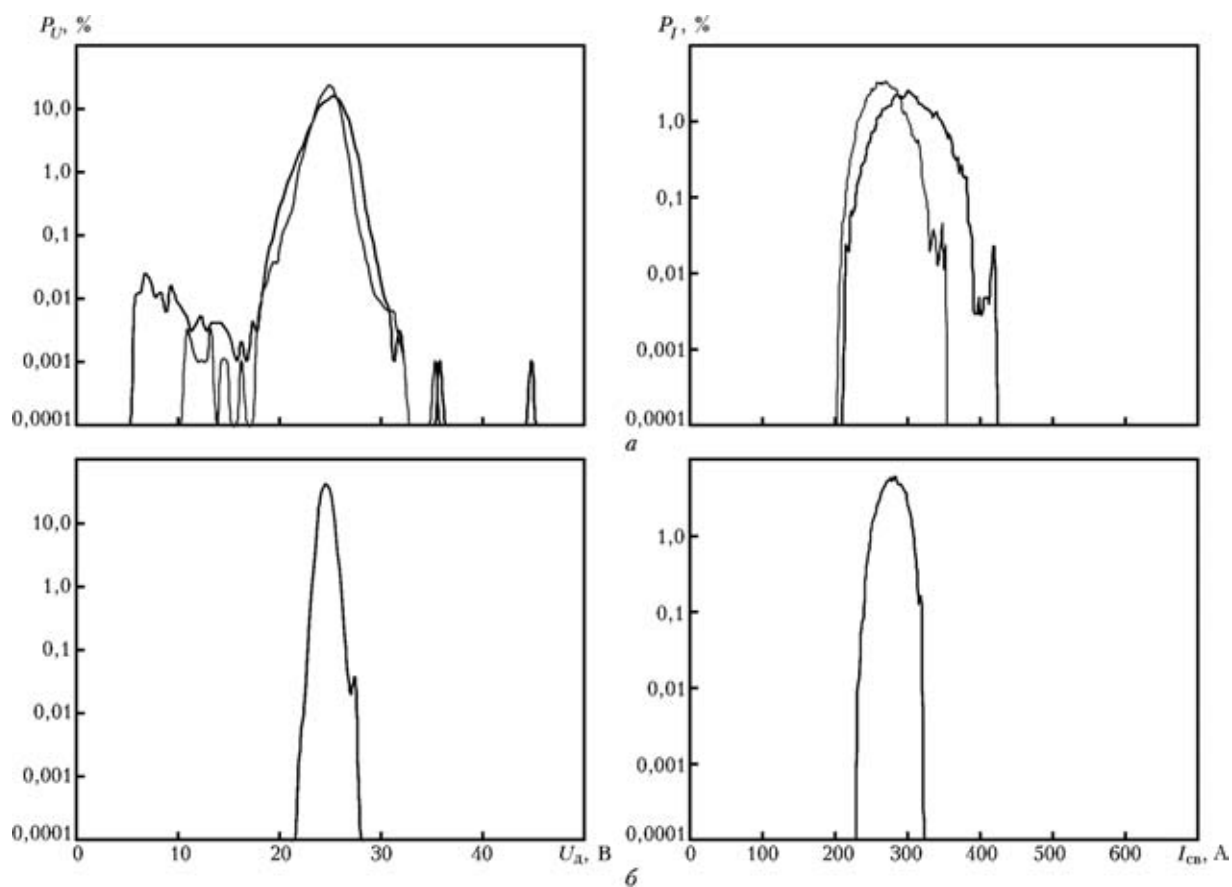


Рис. 5. То же, что и на рис. 1, но для проволоки, содержащей смесь рутила, гексафторсиликата натрия и фторида цезия



вения. Имеет место также изменение характера переноса электродного металла от мелкокапельного к струйному. При этом резко снижается разбрызгивание металла, а амплитуды флюктуаций сварочного тока и напряжения уменьшаются. Стандартные отклонения напряжения уменьшаются с 1,1...2,4 (при сварке в углекислом газе) до 0,5...0,7 В (при использовании смеси аргона с углекислым газом), а сварочного тока снижаются в 2...3 раза. Получить струйный перенос электродного металла при экспериментальной сварке в чистом углекислом газе проволоками исследуемого типа практически не удалось.

Данные таблицы свидетельствуют о том, что введение в сердечник порошковой проволоки оксида титана (рутила) влияет на стабильность процесса сварки незначительно, а небольшая добавка минеральных составляющих, содержащих соединения фтора, оказывает значительное влияние на стабильность процесса сварки. Однако даже при малом (приблизительно до 0,3 мас. %) содержании фтористых соединений в сердечнике порошковой проволоки стабильность процесса сварки зависит от природы этих соединений. Об этом свидетельствуют изменения общего количества коротких замыканий и амплитуды флюктуаций сварочного тока и напряжения на дуге. Так, при сварке в смеси аргона и углекислого газа при введении в сердечник флюорита наблюдается струйный перенос электродного металла, в то время как добавка гексафторсилката натрия вызывает появление единичных коротких замыканий (см. таблицу и рис. 3, 4). Интенсивное выделение газа из сердечника порошковой проволоки при термической деструкции гексафторсилката натрия обуславливает неравномерность переноса электродного металла. Введение в сердечник проволоки смеси рутила с флюоритом в исследованных массовых долях приводит к некоторой стабилизации процесса сварки и переходу от капельного к струйному переносу электродного металла при сварке в углекислом газе (рис. 4). Наличие флюорита оказывает благоприятное действие на плавление оксида титана и устраняет неравномерность плавления проволоки.

Введение небольшого количества ионизирующего компонента (фторида цезия) способствует стабилизации процесса сварки. Использование смеси аргона с углекислым газом независимо от состава минеральных составляющих сердечника порошковой проволоки оказывает стабилизирующее влия-

ние на процесс ее плавления и обуславливает переход от мелкокапельного переноса электродного металла к струйному.

Выводы

1. Исследования процесса сварки опытной порошковой проволокой с металлическим сердечником с использованием в качестве защитной среды углекислого газа и его смеси с аргоном показали, что при массовой доле минеральных составляющих в проволоке менее 2 % процесс сварки в смеси 80 % Ar + 20 % CO₂ отличается стабильностью плавления и наличием перехода от мелкокапельного переноса электродного металла к струйному без коротких замыканий.

2. При дуговой сварке процесс плавления проволоки, содержащих в качестве минеральной составляющей сердечника термические нестабильные фториды, характеризуется меньшей стабильностью и увеличением разбрызгивания металла. Компоненты оксидного типа (рутил) в композиции с нелетучими фторидами (в исследованном интервале их содержания в сердечнике проволоки) стабилизируют процесс сварки в углекислом газе.

3. Результаты исследований стабильности горения дуги при сварке порошковыми проволоками с металлическим сердечником позволили определить состав минеральной составляющей сердечника, обеспечивающий высокие показатели стабильности процесса сварки и снижение потерь электродного металла при сварке в защитных газах.

1. Дятлов В. И. Элементы теории переноса электродного металла при электродуговой сварке // Новые проблемы сварочной техники. — Киев: Техніка, 1964. — С. 167–182.
2. *Металлургия* дуговой сварки: Процессы в дуге и плавление электродов / И. К. Походня, В. Н. Горниенко, С. С. Милыченко и др. — Киев: Наук. думка, 1990. — 221 с.
3. Билюец А. В. Порошковые проволоки с металлическим сердечником для механизированной сварки в среде защитных газов // Междунар. конф. по сварочным материалам стран СНГ «Сварочные материалы. Разработка. Технология. Производство. Качество», г. Днепропетровск, 1–4 июля 2004 г.: Сб. докл. — Днепропетровск, 2004. — С. 135–139.
4. Blakeley P. J., Hass B. A new approach to arc weld monitoring // *Welding Rev. Intern.* — 1991. — August. — P. 157–160.
5. Rehfeldt D., Schmitz Th., Behrens S. M. Report on the use of quality monitoring systems. — S. l., [1995]. — 27 p. — (*Intern. Inst. of Welding; IIW-Doc. XII-1420-95*).
6. Шлепаков В. Н., Котельчук А. С., Сунурин С. А. Идентификация состава порошковых проволок по электрическим сигналам дуговой сварки // *Автомат. сварка.* — 1999. — № 8. — С. 37–42.

The paper presents the results of studying the process of gas-shielded arc welding with flux-cored wires of metal-core type. The influence of mineral components of the flux-cored wire core and shielding gas composition on arcing stability and nature of metal transfer has been established, proceeding from analysis of the data of monitoring electrical signals.

Поступила в редакцию 02.08.2004,
в окончательном варианте 15.02.2005