



# ВЛИЯНИЕ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ НА ПЕРЕХОД УГЛЕРОДА В СВАРОЧНУЮ ВАННУ ПРИ НАПЛАВКЕ

С. Ю. КРИВЧИКОВ, А. П. ЖУДРА, кандидаты техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Приведены результаты исследований перехода углерода в сварочную ванну при наплавке самозащитной порошковой проволокой. Установлено влияние типа углеродсодержащего материала сердечника порошковой проволоки на особенности ее плавления, значения коэффициента перехода углерода в наплавленный металл и его концентрацию в нем.

*Ключевые слова:* наплавка, самозащитная порошковая проволока, углеродсодержащий материал, наплавленный металл, переход углерода

Углерод является одним из основных легирующих элементов, определяющих тип, структуру и другие свойства наплавленного металла. В связи с этим практический интерес представляют данные о кинетике его перехода из порошковой проволоки в сварочную ванну при наплавке.

В настоящей работе приведены результаты исследований влияния типа и количества углеродсодержащих материалов сердечника самозащитной порошковой проволоки на содержание углерода в наплавленном металле.

Наплавку производили опытными порошковыми проволоками (таблица), в которых содержание углерода изменяли путем введения в сердечник следующих углеродсодержащих материалов: графита (Гр) электродного (99,6 % С) или серебристого (99 % С), карбида кремния SiC (29,5 % С) и феррохрома углеродистого ФХ800 (8,2 % С).

В порошковых проволоках первой серии содержалось различное количество электродного графита и карбида кремния. При этом их соотношение изменяли таким образом, чтобы массовая доля углерода во всех проволоках данной серии оставалась равной 2 %. В порошковых проволоках второй серии электродный графит в смесях был заменен на серебристый. Порошковые проволоки третьей серии включали смесь электродного графита и ФХ800, их соотношение обеспечивало содержание углерода, равное 1 %.

Широкослойная наплавка [1] велась на постоянном токе при обратной полярности на следующем режиме:  $I_{св} = 220... 240$  А;  $U_{д} = 24... 25$  В; амплитуда колебаний торца порошковой проволоки составляла 30 мм.

На рис. 1 видно, что степень окисления (реакционная способность) у серебристого графита выше, чем у электродного. Это объясняется, с одной стороны, тем, что серебристый графит содержит большее количество зольных примесей [2]; с другой — частицы электродного графита представляют собой слегка вытянутые объемные зерна, в то время как у серебристого графита они пластинчатые, хлопьевидные. Более развитая удельная поверхность частиц серебристого графита способствует увеличению количества элементарных актов химического взаимодействия углерода с кислородом воздуха на границе раздела поверхность частицы–газ, что приводит к более полному протеканию реакции окисления углерода серебристого графита и снижению его содержания в наплавленном металле.

Замена графита на углерод в связанном состоянии сопровождается увеличением массовой доли углерода в наплавленном металле  $[C]_н$  и значений коэффициента его перехода в наплавленный металл  $\eta_c^н$ . Свои максимальные значения они достигают при использовании материала, содержащего 100 % SiC.

Для смесей, состоящих из электродного графита и феррохрома углеродистого, характерно то, что при выбранном уровне суммарного содержания углерода в порошковой проволоке соотношение Гр/С (ФХ800) не оказывает влияния на массовую долю  $[C]_н$ . При этом значения  $\eta_c^н$  у ФХ800 и SiC практи-

**Состав опытных самозащитных порошковых проволок для определения реакционной способности углерода в углеродсодержащих материалах сердечника порошковой проволоки при наплавке**

Компонент сердечника	Расчетный состав порошковой проволоки, мас. %														
	1 серия					2 серия					3 серия				
Графит электродный	0	0,5	1,0	1,5	2,0	—	—	—	—	—	0	0,25	0,50	0,75	1,0
Графит серебристый	—	—	—	—	—	0	0,5	1,0	1,5	2,0	—	—	—	—	—
Карбид кремния	6,7	5,0	3,3	1,6	0	6,7	5,0	3,3	1,6	0	—	—	—	—	—
Феррохром ФХ800	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	12,5	9,4	6,25	3,1	0
Железный порошок	10,7	11,9	13,1	14,3	15,4	4,9	7,8	10,6	13,6	16,4	10,7	11,9	13,1	14,3	15,4

Примечания. 1. Диаметр порошковой проволоки равен 2,4 мм; коэффициент ее заполнения  $K_a = 25$  %.  
2. Массовая доля остальных компонентов составляет, %: ферромарганца 1,5; ферросилиция 2,0; ферротитана 2,0; алюминиевого порошка 0,6; мрамора 1,2; кремнефтористого натрия 0,3; малоуглеродистой ленты размером 0,4×12 мм.

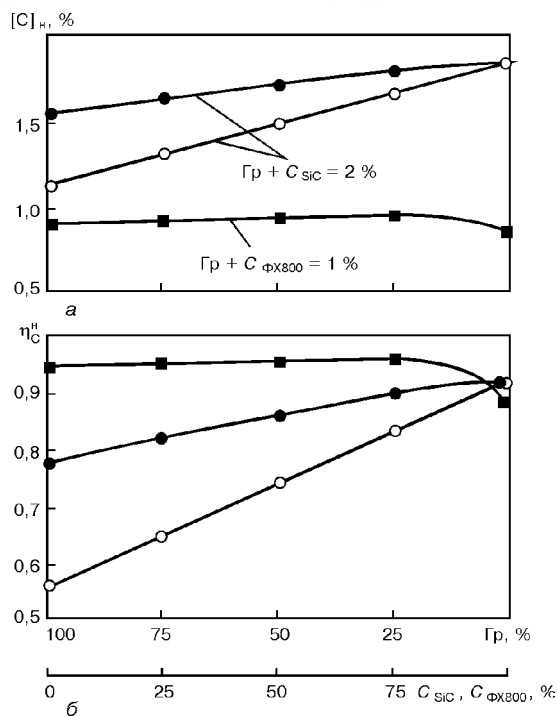


Рис. 1. Влияние углеродсодержащих материалов в сердечнике порошковой проволоки на содержание углерода в наплавленном металле  $[C]_n$  (а), а также на коэффициент его перехода  $\eta_c^t$  (б): ●, ■ — электродный; ○ — серебристый графит

чески равны и не зависят от массовой доли связанного углерода в смесях материалов сердечников порошковых проволок. Увеличение содержания электродного графита в сердечнике от 1 до 2 % сопровождается уменьшением значений  $\eta_c^t$ . Это объясняется влиянием графита на равномерность плавления сердечника и оболочки порошковой проволоки.

Скорости плавления сердечника и оболочки порошковой проволоки, содержащей 1 % графита, практически равны между собой. Весь графит растворяется на стадии капли, а потери углерода главным образом обусловлены его взаимодействием с кислородом в поверхностном слое сварочной ванны и, согласно полученным данным, не превышают 5...6 %.

При плавлении порошковой проволоки, содержащей 2 % графита, происходит образование на сердечнике выступа, часть графита переходит в ванну, минуя стадию капли. Если учесть, что в результате реакции окисления теряется 5...6 % C, то суммарное значение этих потерь как за счет протекания реакции окисления, так и за счет частиц неусвоенного графита (рис. 1) составляет: 16...17 % — при использовании электродного графита и 37...38 % — в случае серебристого графита.

Содержание углерода в каплях  $[C]_k$  и сварочной ванне  $[C]_n$  зависит от того, насколько полно взаимодействует электродная капля с углеродсодержащим сердечником. Для подтверждения этому в

Results of investigations of transfer of carbon into the weld pool during surfacing using self-shielded flux-cored wire are presented. The effect of the type of a carbon-containing material of the flux-cored wire core on peculiarities of melting of this wire, values of the coefficient of transfer of carbon into the deposited metal and its concentration in it has been established.

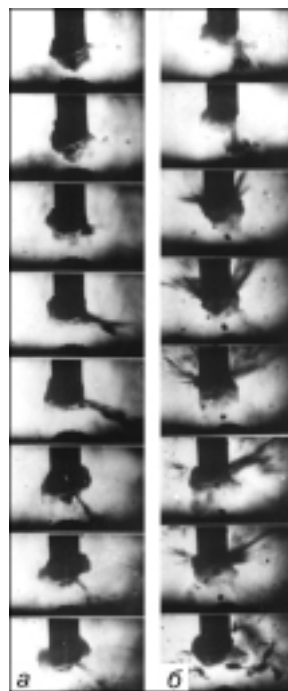


Рис. 2. Кинограмма плавления порошковых проволок с массовой долей углеродного волокна УН-2 в сердечнике 2 (а) и 4 % (б) (частота съемки составляла 2200 кадр/с)

порошковые проволоки вместо графита вводили гид- ратцеллюлозное углеродное волокно УН-2 (90 % C). В сравнении с электродным графитом оно обладает более низкой смачиваемостью жидким металлом и примерно одинаковой температурой разрушения кристаллической решетки (3600 и около 4000 °С соответственно для УН-2 и графита). Из кинограммы, представленной на рис. 2, видно, что волокно УН-2 выделяется в самостоятельный, мало участвующий в процессе плавления, компонент сердечника порошковой проволоки, а характер его взаимодействия с жидкими каплями имеет взрывообразный характер. В результате при использовании в сердечнике, который плохо смачивается жидким металлом, углеродсодержащего материала наблюдаются низкие значения  $[C]_n$ ,  $[C]_k$  и  $\eta_c^t$ . Улучшение смачиваемости при использовании электродного графита способствует более полному усвоению углерода как на стадии ванны, так и капли. Уменьшение значений коэффициентов перехода углерода в каплю  $\eta_c^k$  и в наплавленный металл  $\eta_c^t$  с увеличением массовой доли графита в порошковой проволоке объясняется возрастанием неравномерности плавления порошкообразного сердечника и металлической оболочки, что сопровождается увеличением длины неоплавившейся части сердечника и частоты его разрушения.

1. Кривчиков С. Ю., Жудра А. П., Петров В. В. Современные технологии дуговой наплавки коленчатых валов // Свароч. пр-во. — 1994. — № 5. — С. 4–6.
2. Искусственный графит / В. С. Островский, Ю. С. Виргильев, В. И. Костиков и др. — М.: Металлургия, 1986. — 272 с.

Поступила в редакцию 21.06.2000