



## ВЛИЯНИЕ ГРАФИТА НА КИНЕТИКУ ПЕРЕХОДА УГЛЕРОДА В СВАРОЧНУЮ ВАННУ ПРИ НАПЛАВКЕ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ

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

Приведены результаты исследования влияния гранулометрического состава графитового порошка в сердечнике самозащитной порошковой проволоки на усвоение углерода сварочной ванной и стабильность горения дуги при электродуговой наплавке. Установлено, что максимальный коэффициент перехода углерода в наплавленный металл и высокая стабильность горения дуги обеспечиваются при использовании в сердечнике порошковой проволоки электродного графита с размером зерен 200...250 мкм.

*Ключевые слова:* дуговая наплавка, порошковая проволока, наплавленный металл, графит, гранулометрический состав, переход углерода, стабильность горения дуги, перенос металла

Графит — основной углеродосодержащий материал, который вводят в состав сердечника самозащитных порошковых проволок, используемых при наплавке высокоуглеродистых сплавов. В отличие от других компонентов сердечника (металлических порошков, ферросплавов, минералов, солей, оксидов, фторидов и др.) графит является наиболее термостойким неплавящимся материалом с температурой разрушения кристаллической решетки около 4000 °С [1]. В связи с этим можно ожидать, что наличие графита в порошковой проволоке будет оказывать влияние как на характер ее плавления, так и на кинетику перехода углерода в наплавленный металл.

Целью настоящей работы является исследование влияния графита и его гранулометрического состава на кинетику перехода углерода в сварочную ванну, а также на плавление порошковой проволоки, параметры переноса электродного металла и стабильность горения дуги при наплавке самозащитной порошковой проволокой.

Для проведения исследований использовали графит марки ГЛ-2 (ГОСТ 5279–74), размолотый и разделенный на четыре фракции — 100...160, 200...250, 250...315 и 400...500 мкм. Содержание графита каждой фракции в опытных порошковых проволоках диаметром  $d_{\text{пр}} = 2,4$  мм изменяли дискретно от 0 до 7 мас. %. Кроме графита, в состав порошковых проволок при постоянном содержании входили ферромарганец, ферросилиций, ферротитан, алюминиевый порошок, мрамор, кремнефтористый натрий и железный порошок. Постоянное значение коэффициента заполнения (21 %) при увеличении массовой доли графита

поддерживалось за счет уменьшения содержания железного порошка.

Наплавку валиков осуществляли на постоянном токе обратной полярности на следующем режиме: сварочный ток  $I_{\text{св}} = 220...240$  А; напряжение на дуге  $U_{\text{д}} = 24...25$  В; скорость подачи порошковой проволоки  $v_{\text{пр}} = 97,2$  м/ч; скорость наплавки  $v_{\text{н}} = 7,2$  м/ч. Содержание углерода в наплавленном металле в третьем его слое определяли с помощью химического анализа. Сварочные характеристики процесса плавления порошковых проволок (стабильность горения дуги, выраженная через значение коэффициента вариации по напряжению на дуге  $K_V^U$ ; количество  $N_{\text{к.з}}$  и длительность  $\tau_{\text{к.з}}$  коротких замыканий дугового промежутка электродными каплями, переходящими в сварочную ванну) измеряли с помощью анализатора нестационарных процессов АНП-2 [2].

Результаты исследований, представленные на рис. 1, свидетельствуют о том, что при различном содержании графита в порошковых проволоках наибольшая концентрация углерода  $[C]_{\text{н}}$  в наплавленном металле имеет место, если размер зерен графита составляет 200...250 мкм. Уменьшение или увеличение грануляции графита приводит к снижению  $[C]_{\text{н}}$ .

Из рис. 2 видно, что изменение коэффициента  $\eta_{\text{с}}$  перехода углерода в наплавленный металл зависит от размера  $d$  частиц (гранул) графита. Влияние размера гранул графита на кинетику перехода углерода в наплавленный металл можно объяснить исходя из механизмов твердофазного взаимодействия графита с жидкой и газовой фазами при плавлении самозащитных порошковых проволок.

Зерна графита мелкой (100...160 мкм) фракции отличаются относительно развитой удельной поверхностью, что способствует интенсификации химического взаимодействия между поверхнос-

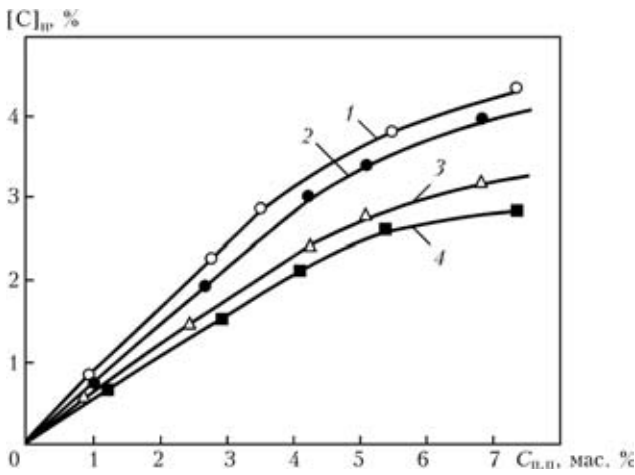


Рис. 1. Влияние содержания  $C_{п.п}$  графита в порошковой проволоке на концентрацию углерода  $[C]_н$  в наплавленном металле ( $I_{св} = 230$  А;  $U_d = 24...25$  В;  $d_{пр} = 2,4$  мм): 1 — 200...250; 2 — 250...315; 3 — 100...160; 4 — 400...500 мкм

тью гранул графита и кислородом воздуха. При этом значительная часть этих гранул окисляется и переходит в газовую фазу, а оставшаяся — растворяется в жидкой электродной капле и сварочной ванне. Существенные потери углерода в результате окисления графита мелкой грануляции обуславливают относительно низкое значение  $\eta_c$ .

С увеличением размера гранул графита их удельная поверхность уменьшается, а процесс окисления переходит из кинетического состояния в диффузионное, скорость его становится соизмеримой скорости диффузионного растворения частиц в сплаве [3, 4]. Причем процесс растворения графита, начавшийся в капле, продолжается в сварочной ванне. Это приводит к тому, что значения  $\eta_c$  увеличиваются вследствие уменьшения потерь углерода от окисления графита и возрастания роли процесса диффузионного растворения последнего в жидком расплаве. Максимальное значение коэффициента перехода углерода в наплавленный металл имеет место при размере гранул графита в порошковой проволоке 200...250 мкм.

В случае использования графита крупной (400...500 мкм) фракции доминирующим меха-

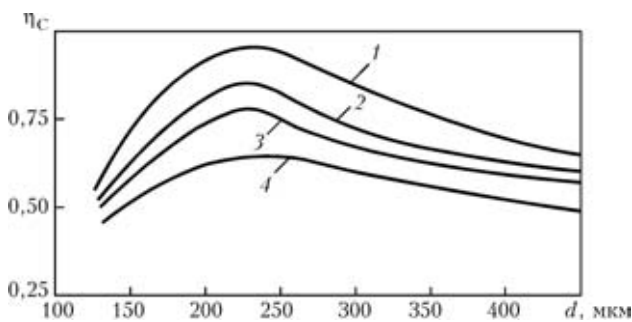


Рис. 2. Влияние размера  $d$  гранул графита на коэффициент  $\eta_c$  перехода углерода в наплавленный металл: 1 —  $C_{п.п} = 1$ ; 2 — 2; 3 — 5; 4 — 4 мас. %

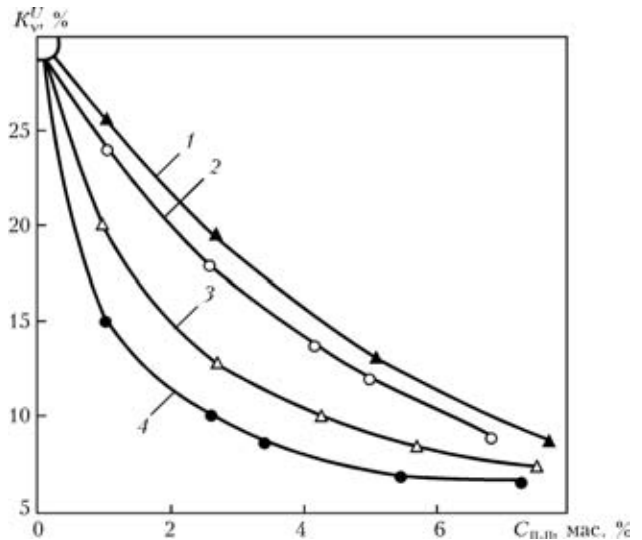


Рис. 3. Влияние содержания графита и размера его гранул на стабильность горения дуги при плавлении порошковой проволоки: 1 — 400...500; 2 — 250...315; 3 — 100...160; 4 — 200...250 мкм

низмом потерь углерода становятся неуспешные попытки полностью прореагировать на стадии капли и сварочной ванны гранулы графита. Всплывая из-за малого удельного веса на поверхность расплавленного металла, они контактируют с ним лишь частично, что понижает значимость процесса диффузионного растворения графита, а вместе с тем и значения коэффициента перехода углерода в наплавленный металл. Потери углерода вследствие окисления крупных гранул графита, в этом случае незначительны.

Наряду с гранулометрическим составом на значение  $\eta_c$  оказывает влияние содержание графита в сердечнике порошковой проволоки. Скоростной киносъемкой установлено, что при  $C_{п.п} < 2,0...2,2$  мас. % значения скорости плавления оболочки порошковой проволоки и ее сердечника практически равны. При значительном содержании графита равномерность плавления нарушается. Образующийся при этом «выступ» сердечника при достижении критической длины разрушается и в виде более или менее крупных агломератов попадает на поверхность сварочной ванны, а затем отесняется конвективными и газодинамическими потоками в ее хвостовую кристаллизующуюся часть, не успевая раствориться в жидком сплаве. Из рис. 2 видно, что чем больше содержание графита в сердечнике, тем чаще происходит разрушение неоплавившегося сердечника и значительные потери углерода, не перешедшего в наплавленный металл.

Помимо кинетики перехода углерода в наплавленный металл, содержание графита оказывает влияние на стабильность горения дуги и параметры переноса электродного металла при плавлении самозащитных порошковых проволок. На рис. 3 показано, что с увеличением  $C_{п.п}$  стабильность

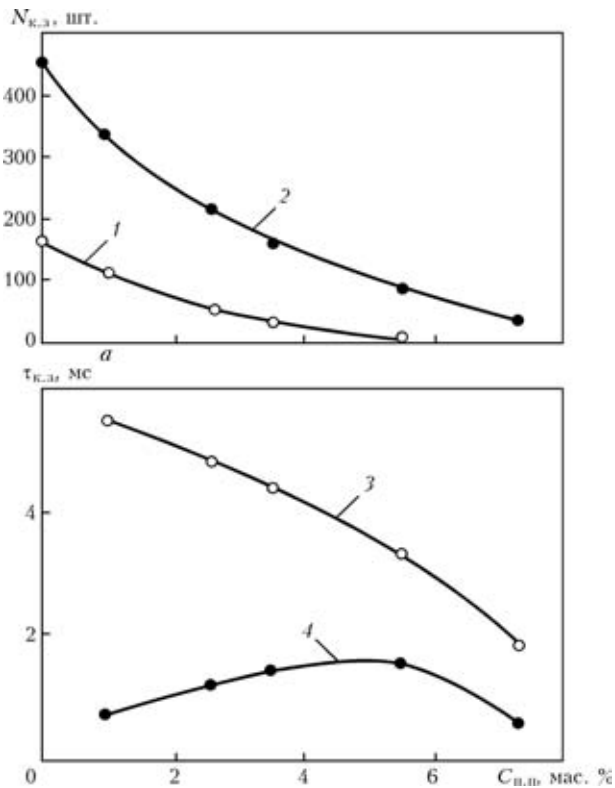


Рис. 4. Влияние графита с размером гранул 200...250 мкм на количество  $N_{к.з.}$  (а) и длительность  $\tau_{к.з.}$  (б) коротких замыканий дугового промежутка электродными каплями при плавлении порошковой проволоки: 1, 3 — соответственно количество и длительность действительных коротких замыканий при переходе электродной капли в сварочную ванну; 2, 4 — то же случайных коротких замыканий без перехода электродной капли в сварочную ванну

горения дуги повышается (значения  $K_V^U$  уменьшаются). Это связано с тем, что при неизменном режиме наплавки содержание графита в сердечнике оказывает влияние на длину дуги. Как следует из результатов скоростной киносъемки, чем оно выше, тем больше длина дуги при плавлении порошковой проволоки. Увеличение длины дуги приводит к изменению основных параметров переноса электродного металла, которые оказывают влияние на стабильность горения дуги — частоту и длительность действительных коротких замыканий (т. е. капля перетекает в сварочную ванну). На рис. 4 показано, что с увеличением значений  $C_{п.п.}$  длительность действительных коротких замыканий уменьшается, а стабильность горения дуги возрастает (см. рис. 3).

1. Искусственный графит / В. С. Островский, Ю. С. Виргильев, В. И. Котиков и др. — М.: Металлургия, 1986. — 272 с.
2. Кривчиков С. Ю., Жудра А. П., Петров В. В. Влияние карбонатов на сварочно-технологические свойства самозащитной порошковой проволоки для наплавки белого чугуна // Автомат. сварка. — 1994. — № 7/8. — С. 18–20.
3. Хитрин Л. Н., Головина Е. С. Высокотемпературное взаимодействие графита с различными химически активными газами // Исследования при высоких температурах. — М.: Наука, 1967. — С. 157–166.
4. Александров В. В., Корчагин М. А. О механизме и макрокINETИКЕ реакций при горении СВС-систем // Физика горения и взрыва. — 1987. — № 5. — С. 55–63.

Given are the results of investigations into the effect of grain size composition of graphite powder in the core of a self-shielding flux-cored wire on absorption of carbon by the weld pool and stability of the arc in electric arc surfacing. It has been established that the maximal coefficient of transfer of carbon into the deposited metal and the high stability of the arc are achieved when using the electrode graphite with a grain size of 200-250  $\mu\text{m}$  in the flux-cored wire core.

Поступила в редакцию 06.06.2006,  
в окончательном варианте 13.07.2006

## НОВОСТИ

### НЕОГРАНИЧЕННО МОБИЛЬНАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНАЯ РЕЗКА (плазменная резка с использованием жидкости вместо газа)

В новом процессе плазменной резки от компании «Fronius» вместо сжатого воздуха исходной средой является жидкость. При этом достигается: во-первых, неограниченная мобильность, во-вторых, пониженный выброс вредных частиц. Система плазменной резки делает рабочее место более аккуратным. С одной стороны, прибор TransCut 300 — это просто название новой системы плазменной резки, с другой — термин для названия новой технологии резки. Она дает начало развитию новой тенденции: мобильные, совместимые с гене-

ратором системы будут иметь большое влияние на процессы резки на месте. В будущем экологически безопасная и «более здоровая» резка станет нормой для всех видов металлообрабатывающей промышленности.

По сравнению со сжатым воздухом и газом жидкость в качестве исходной среды обеспечивает некоторые очевидные преимущества. Она не требует большого пространства, т. е. может легко храниться на месте. Исчезает необходимость в подсоединении к статическим или мобильным системам газоснабжения или генерирования сжатого воздуха. При весьма низких выбросах, жидкая среда способствует обеспечению экологически безопасной резки и существенно улучшает условия работы. Это становится чрезвычайно важным, если вспомнить, что соответствующие ко-