

УДК 621.791

Гринь А. Г., Бойко И. А., Дегтяренко Н. Е.

ВЛИЯНИЕ УГЛЕРОДООБРАЗУЮЩЕГО КОМПОНЕНТА ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ НА ОБРАЗОВАНИЕ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ В НАПЛАВЛЕННОМ МЕТАЛЛЕ

Применение порошковой проволоки дает ряд известных преимуществ перед использованием других сварочных и наплавочных материалов. В настоящее время технология производства и применения порошковой проволоки находится на высоком уровне, однако, одним из недостатков для самозащитных порошковых проволок, является наличие в наплавленном металле неметаллических включений. Это существенно снижает механические свойства стали и ресурс ее работы. Неметаллические включения являются концентраторами напряжений. Как правило, разрушение наплавленного слоя (шва) начинается с дефекта, зачастую – с неметаллического включения. Включения сульфидов, оксидов, силикатов оказывают влияние на микроструктуру стали. В конструкционной стали включения вызывают значительное понижение пластичности, главным образом относительного сужения, ударной вязкости, усталостной прочности. Наличие в стали неметаллических фаз понижает ее коррозионную стойкость, износостойкость [1].

Известно, что неметаллические включения по способу возникновения в наплавленном металле делятся на эндогенные и экзогенные. Последние находятся в прямой зависимости от чистоты исходных наплавочных материалов. При использовании порошковой проволоки экзогенные неметаллические включения попадают в сварочную ванну из материалов наполнителя и оболочки. Часто содержание неметаллических включений в наплавленном металле превышает их содержание в основном металле [2].

При сварке и наплавке порошковой проволокой наиболее широко принято аргументировать повышенное содержание неметаллических включений экзогенного характера отставанием плавления сердечника порошковой проволоки от ее оболочки. Это связано с тем, что металлическая оболочка обладает более высокой, чем сердечник электропроводностью. Одной из мер борьбы с данным недостатком является увеличение металлической составляющей шихты, в частности железного порошка. Однако увеличивать долю железного порошка в сердечнике целесообразно до определенного предела. При высокой степени легирования дополнительно введенное железо уменьшает массовое содержание легирующих элементов [3].

При плавлении проволок с повышенным содержанием углерода в каплях возникают полости, что не способствует образованию качественного металла шва [4].

В состав проволок, используемых для наплавки высокоуглеродистых сталей, вводят углеродсодержащий материал, преимущественно в виде графита. Известно [5], что графит является наиболее термостойким неплавящимся материалом с температурой разрушения кристаллической решетки выше 4000 К.

На основании выше отмеченного можно предположить, что наличие углерода в том или ином виде будет оказывать влияние на характер плавления порошковой проволоки качество наплавленного металла.

Целью настоящей работы является изучение влияния графита, широко используемого в качестве углеродообразующего компонента, в составе сердечника самозащитных порошковых проволок на содержание неметаллических включений в наплавленном металле.

Конструкция порошковой проволоки позволяет вводить легирующие элементы в наплавленный металл из сердечника и оболочки. Количество легирующего элемента, который поступает в наплавленный металл из сердечника, определяется коэффициентом заполнения, количеством легирующего элемента в шихте, коэффициентом перехода легирующего

элемента из сердечника в наплавленный металл. Количество легирующего элемента, поступающего из оболочки, зависит от его содержания в металле ленты оболочки и коэффициента массы оболочки порошковой проволоки, который рассчитывается по формуле:

$$K_{м.о} = (1 - K_з) \cdot 100 \% , \quad (1)$$

где $K_{м.о}$ – коэффициент массы оболочки;

$K_з$ – коэффициент заполнения.

Необходимо отметить, что преимуществом введения легирующих элементов через оболочку является минимизация потерь на угар, по сравнению с введением их через сердечник. Авторами настоящей работы были проведены исследования, подтвердившие достоверность уменьшения угара при легировании оболочкой. Например, коэффициент перехода марганца из оболочки равен 0,92–0,95, в то время как при использовании ферромарганца в составе шихты проволоки он изменяется в пределах 0,6–0,65. Увеличение легирующего элемента оболочки можно производить до предела, который ограничен механическими свойствами металла, что требует корректировки скорости и маршрута волочения, а в некоторых случаях – уменьшения дозировки шихты при формировании обечайки проволоки.

При сварке и наплавке неоплавившаяся часть сердечника осыпается в сварочную ванну с определенной периодичностью, таким образом засоряя ее. Из множества компонентов шихты наиболее низким удельным сопротивлением обладают ферросплавы и металлические порошки, а наиболее высоким – газо-шлакообразующие компоненты, и углеродообразующий компонент – графит.

Оценку равномерности плавления самозащитных порошковых проволок (СПП) выполняли по методике [7], предусматривающей количественный показатель. Особенность ее заключается в измерении длины неоплавленной части сердечника после затухания дугового разряда и расчета коэффициента равномерности плавления A с учетом вылета электрода, диаметра проволоки, а также толщины оболочки и диаметра сердечника порошковой проволоки:

$$A = \frac{l}{d} \cdot \left(\frac{L}{D} \right)^{-1} , \quad (2)$$

где l – длина выступа сердечника после обрыва сварочной дуги;

d – внутренний диаметр порошковой проволоки;

L – величина вылета проволоки;

D – внешний диаметр проволоки.

Для изготовления оболочек порошковых проволок использовались ленты марок 08кп, 09Г2, 65Г размером 0,5 × 12 мм. Химические составы металла лент приведены в табл. 1.

Таблица 1

Химические составы применяемых лент

№	Марка ленты	Химический состав, %						
		C	Si	Mn	Ni	Cr	P	S
1	08кп	0,04–0,06	0,01	0,32	0,1	0,1	0,035	0,04
2	65Г	0,68–0,74	0,26	0,62	0,15	0,25	0,025	0,035
3	09Г2	0,07–0,1	0,031	1,65	0,025	0,25	0,025	0,03

Исследование загрязненности лент показали, что содержание включений уменьшается по мере повышения степени раскисленности стали, при этом возрастает равномерность расположения включений [10].

Для исследований были изготовлены порошковые проволоки с оболочками из указанных материалов (табл. 1) и различными составами наполнителя. Во всех случаях система легирования С–Cr–Si–Mo–V, в качестве переменного фактора принято содержание графита. Содержание углерода в наплавленном металле изменялось через металл оболочки и через сердечник, а также рассмотрено их совместное влияние на загрязненность наплавки. Для проведения исследований использовали графит марки ГЛ-1 по ГОСТ 5279-74. Содержание графита в шихте опытных порошковых проволоках диаметром 2,5 мм изменяли в пределах от 0 до 7 %. Состав шихты для изготовления порошковых проволок представлен в табл. 2

Таблица 2

Составы шихты сердечника порошковых проволок, % масс.

№ п/п	Порошок Состав	Содержание в шихте, %					
		1	2	3	4	5	6
1	CaF ₂	15	15	15	15	15	15
2	CaCO ₃	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
3	TiO ₂	15	15	15	15	15	15
4	FeMn	3	3	3	3	3	3
5	FeSi	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5
6	Cr	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5
7	Mo	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3
8	V	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
9	Al	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
10	Fe	11	9,6	8,2	6,8	5,6	4
11	Графит	0	1,4	2,8	4,2	5,6	7,0

После изготовления порошковых проволок и проверки их геометрических характеристик, установлено, что коэффициенты заполнения проволок с оболочками 08кп и 09Г2 практически одинаковы при варьировании массовой доли графита за счет изменения содержания железного порошка. Для проволок с оболочкой из стали 65Г этот показатель на 10–12 % ниже. Авторы работы объясняют это более высокими механическими свойствами данной стали, а также способностью материала образовывать на поверхности оболочки упрочненный поверхностный слой при деформации в процессе волочения. При последующей протяжке такой материал меньше поддается деформации удлинения, что приводит к увеличению коэффициента массы оболочки. Стоит отметить, повышенную плотность сердечника на 6–7 % у проволоки с оболочкой 65Г, относительно проволок изготовленных из других сталей (табл. 2), что увеличивает его электропроводность. Относительная плотность сердечника порошковой проволоки определена как:

$$r_{отн} = \frac{r_{серд}}{\sum_{i=1}^N r_{Mi} \cdot h_i}, \quad (3)$$

где $r_{серд}$ – плотность сердечника; r_{Mi} – монолитная плотность i -го компонента шихты; h_i – количество i -го компонента в шихте.

Многослойная наплавка изготовленными самозащитными порошковыми проволоками производилась на пластину из Ст 3. Для наплавки применялись порошковые проволоки диаметром 2,5 мм. Наплавку валиков осуществляли на постоянном токе обратной полярности на

следующем режиме: сварочный ток $I_{св} = (200–220)A$; напряжение на дуге $U_d = (26–28) В$; скорость наплавки 19,2 м/ч. Оценка распределения неметаллических включений по размерным группам производилось в соответствии с методом П (ГОСТ 1778-70). Анализ неметаллических включений проводился на нетравленых макрошлифах, вырезанных из многослойной наплавки, при помощи металлографического микроскопа «Неофот-30». Результаты исследований, представленные рис. 1. свидетельствуют о том, что при увеличении содержания графита в составе проволоки общая загрязненность наплавленного металла возрастает.

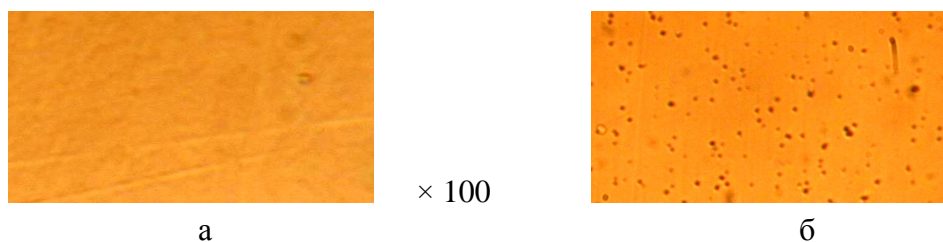


Рис. 1. Неметаллические включения в металле, наплавленном порошковой проволокой с оболочкой из стали 65Г:

а – без графита в шихте; б – с содержанием графита в шихте 2,8 %

Химический анализ образцов, вырезанных из металла наплавки, показал, что коэффициент перехода углерода изменяется в зависимости от его содержания в порошковой проволоке и, как следствие, в наплавленном металле. На рис. 2 показано, что при увеличении содержания углерода в порошковой проволоке коэффициент перехода уменьшается от 0,95 до 0,6.



Рис. 2. Изменение коэффициента перехода углерода в зависимости от содержания углерода в порошковой проволоке

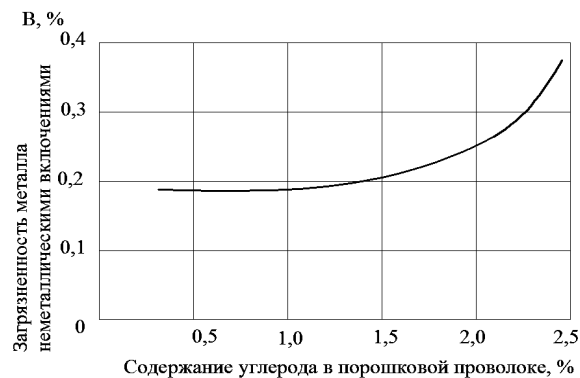


Рис. 3. Зависимость загрязненности наплавленного металла неметаллическими включениями от содержания углерода в порошковой проволоке

Исследование зависимости содержания неметаллических включений от содержания углерода в порошковой проволоке показали, что при его содержании в проволоке до 1,5 % количество неметаллических включений в наплавке практически не изменяется, однако при дальнейшем увеличении содержания углерода в исследуемых пределах количество включений увеличивается практически в 2 раза.

При неизменном режиме наплавки увеличение вылета электрода приводит к увеличению коэффициента равномерности плавления, т. к. увеличивается длина выступа сердечника проволоки. При содержании углерода до 1,5 % в составе проволоки скорость плавления оболочки и сердечника одинаковы, что подтверждается низким уровнем загрязненности металла наплавки.

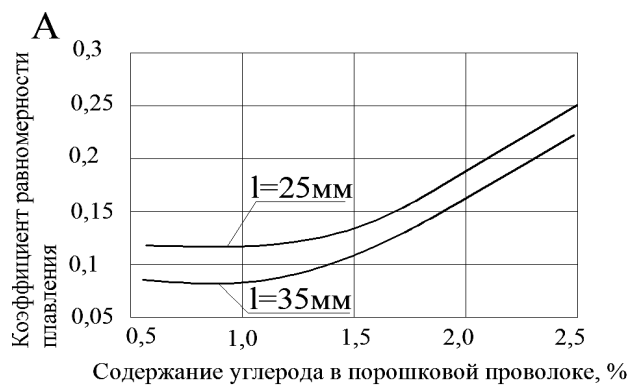


Рис. 4. Зависимость коэффициента равномерности плавления порошковой проволоки от содержания углерода в порошковой проволоке при вылетах 25 и 35 мм

При увеличении содержания графита скорость плавления сердечника уменьшается. Образующийся при этом выступ, достигнув критической величины, разрушается и попадает в сварочную ванну, перемещается в кристаллизующуюся хвостовую часть ванны, где не успевает раствориться. Чем выше содержание графита в проволоке, тем больше неравномерность ее плавления, а, следовательно, чаще происходит разрушение неоплавившейся части сердечника. Подтверждением рассмотренного механизма влияния графита на загрязненность неметаллическими включениями наплавленного металла является уменьшение коэффициента перехода углерода. Увеличение потерь углерода связано с неоднородным гранулометрическим составом графита. Можно предположить, что не успевшие полностью прореагировать на стадии капли и сварочной ванны крупные гранулы графита, всплывают на поверхность раздела шлак – металл по причине малого удельного веса. Часть их захватывается шлаком, а остальные – снова попадают в слои жидкого металла, где образуют зародыши включений графита или происходит выделение углерода непосредственно из твердого раствора на ранее образовавшихся неметаллических включениях.

ВЫВОДЫ

1. Количество графита, введенное в порошковую проволоку, оказывает влияние на равномерность плавления сердечника, что приводит к загрязненности наплавленного металла неметаллическими включениями и неравномерности их расположения по сечению.
2. В самозащитных порошковых проволоках с оболочкой из стали 65Г содержание графита рационально ограничивать до 1,5 %, относительно состава проволоки. При большем содержании снижается качество наплавленного металла.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кудрявцев И. В. *Материалы в машиностроении. Выбор и применение. Том 2.* / И. В. Кудрявцев. – М. : Металлургия, 1968. – 498 с.
2. *Управление качеством наплавки через материал оболочки порошковой проволоки* / А. Г. Гринь, В. М. Карпенко, А. А. Богуцкий, И. А. Бойко // *Вестник ДГМА.* – 2006. – № 2(4). – С. 21–26.
3. *Походня И. К. Сварка порошковой проволокой* / И. К. Походня. – К. : Наукова думка, 1972. – 223 с.
4. Юзвенко Ю. А. *Модель плавления самозащитной порошковой проволоки* / Ю. А. Юзвенко, Г. А. Кирилюк, С. Ю. Кривчиков // *Автоматическая сварка.* – 1983. – № 1. – С. 26–29.
5. *Искусственный графит* / В. С. Островский, Ю. С. Виргильев, В. И. Котиков и др. – М. : Металлургия, 1986. – 272 с.
6. *Восстановление и повышение износостойкости деталей и машин /под ред. В. С. Попова.* – Запорожье, ОАО «Мотор-Сич», 2000. – 394 с.
7. Пат. на корисну модель № 32664. *Спосіб оцінки рівномірності плавлення самозахисного порошкового дроту* / О. Г. Гринь, В. М. Карпенко, І. А. Бойко. – Опубл. 26.05.2008, Бюл. № 10.
8. 2nd *International Conference Science and higher education in function of sustainable development* / A. G. Grin, I. A. Boyko : SED. 2009, Uzice, Serbia. – P. 152–158.