

УДК 621. 791.G21.73

Власов А. Ф.

ЭЛЕКТРОДЫ С ЭКЗОТЕРМИЧЕСКОЙ СМЕСЬЮ В ПОКРЫТИИ ДЛЯ СВАРКИ НИЗКОУГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

Применяемые в настоящее время в промышленности электроды для сварки и наплавки характеризуются низкой производительностью (коэффициент наплавки не превышает 8,5 – 9,5 г/А·ч). Повышение производительности ручной дуговой наплавки и изыскание новых видов сырья для их изготовления является одной из главных задач, стоящих перед разработчиками наплавочных материалов.

Одним из основных путей увеличения производительности ручной дуговой сварки (наплавки) является введение в состав покрытия электродов железного порошка. При содержании в электродах железного порошка в пределах значений 15...25 % улучшаются их сварочно-технологические свойства без существенного изменения коэффициента наплавки. Наибольшая производительность достигается при содержании в покрытии электродов 60...70 % железного порошка при одновременном увеличении толщины покрытия электродов. Однако, удельный вес применяемых в нашей стране «высокопроизводительных» электродов (вследствие необходимости использования в этом случае источников питания с напряжением холостого хода величиной 80 В [1], дефицитности железного порошка, сложности обеспечения качественного их изготовления в поточных линиях «электродный пресс – конвейерная прокаточная печь» очень мал. Дальнейший рост производства прогрессивных марок электродов также ограничивается дефицитом (как на мировом рынке, так и в нашей стране) ряда сырьевых материалов, таких как железный порошок, рутиловый концентрат и др.

Целью данной работы является исследование влияния количества экзотермической смеси и толщины покрытия электродов на производительность их расплавления.

Проведенными исследованиями [2] установлено, что при изменении содержания в покрытии электродов экзотермической смеси, состоящей из окалины и алюминиевого порошка, от 35 до 64% прирост температуры составил 1280⁰С и является достаточным для полного расплавления ферросплавов.

Однако до настоящего времени данные о влиянии экзотермической смеси на показатели плавления электродов и распределение тепла, выделяемого при экзотермической реакции, проходящей между электродом и изделием, ограничены [3–5].

Скорость или производительность плавления электрода, оцениваемая в основном изменением длины или массы расплавленного стержня электрода в единицу времени, является важной характеристикой сварочного процесса и зависит от многих факторов, главными из которых являются: сила сварочного тока, состав покрытия, род и полярность тока.

При введении в покрытие электродов экзотермической смеси выделяется дополнительное количество тепла за счет химической реакции между оксидами железа и элементами-раскислителями. Наибольшее количество тепла выделяется при взаимодействии алюминия с закисью железа, а наименьшее – при взаимодействии марганца с закисью железа.

При введении в электродное покрытие оксидов железа и активных элементов-раскислителей протекает экзотермический процесс с выделением дополнительного тепла. Так как любой процесс раскисления является экзотермическим, то определение места его протекания является важным вопросом. В тех случаях, когда при нагреве электродного покрытия и взаимодействии оксидов железа с элементами-раскислителями образуется экзотермическая смесь, экзотермический процесс протекает в покрытии до расплавления электродного стержня. При недостаточном для образования экзотермической смеси количестве оксидов железа и элементов-раскислителей в покрытии электродов, экзотермический процесс протекает на стадии формирования и переноса капли. При этом в первом случае будет

наблюдаться ускоренное плавление покрытия и электродного стержня, а во втором – только увеличение температуры нагрева электродного металла при отсутствии повышения скорости плавления электрода.

Для исследования влияния экзотермического процесса на показатели плавления электродов с различной толщиной покрытия изготавливались электроды с диаметром стержня 5,0 мм, толщина покрытий которых изменялась в пределах 0,5...3,3 мм. В покрытие, принятого за основу, за счёт его газшлакообразующей части, вводились в одинаковом количестве: окалина, железный и алюминиевый порошок.

В качестве связующего использовалось натриевое жидкое стекло. Плавление электродов производилось на постоянном токе обратной полярности при двух значениях величины силы сварочного тока: 250 А, 290 А (рис. 1а,б) и напряжении холостого хода источника питания – 60 В.

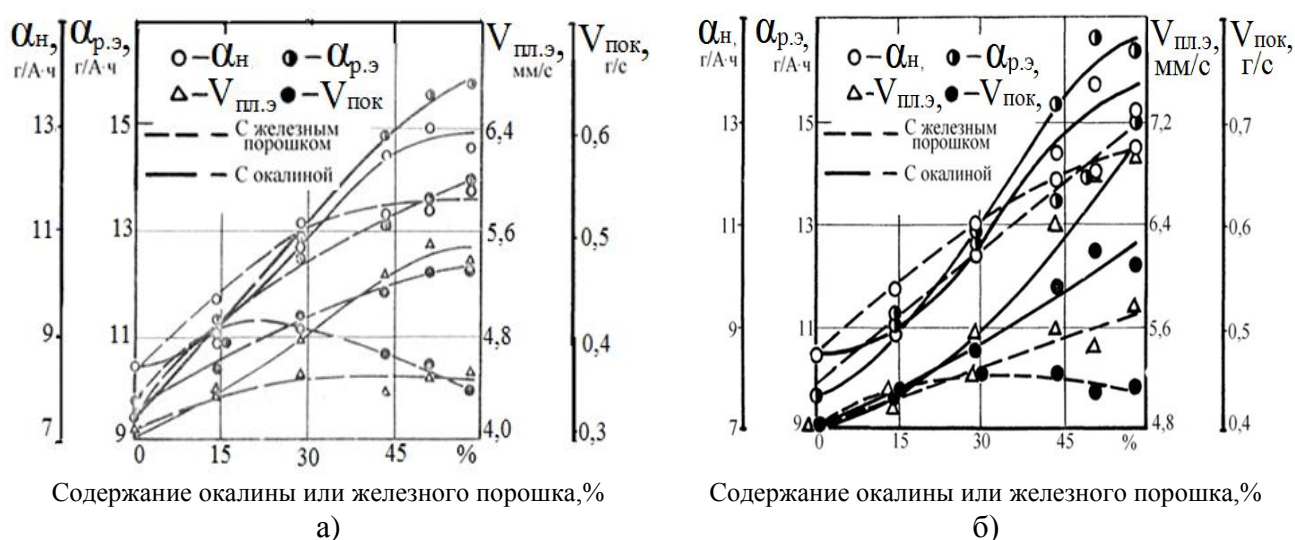


Рис. 1. Показатели плавления электродов в зависимости от содержания в покрытии окалины или железного порошка при силе сварочного тока 250 А(а) и 290 А(б):

$V_{пл}$ – линейная скорость плавления электрода, мм/с; $V_{пок}$ – массовая скорость плавления покрытия электрода, г/с; α_n – коэффициент наплавки, г/А·ч; $\alpha_{p.э}$ – коэффициент расплавления электрода, г/А·ч

При содержании в покрытии электродов окалины в пределах 58 % по сравнению с электродами, содержащими такое же количество железного порошка, скорость плавления электродов увеличилась на 18...20 %, массовая скорость плавления покрытия – на 31...34 %, а коэффициент расплавления электрода – на 11...14 % (меньшие значения относятся к величине сварочного тока 250 А, а большие – 290 А).

Влияние экзотермического процесса на показатели плавления электродов с различной толщиной покрытия при двух значениях величины силы сварочного тока: 250А, 290 А (рис.2) и напряжении холостого хода источника питания – 60 В по сравнению с электродами, содержащими такое же количество железного порошка ($K_n = 1,2$), скорость плавления электродов увеличилась на 27...31 %, массовая скорость плавления покрытия – на 25...31 %, а коэффициент расплавления электрода – на 26...36 % (меньшие значения относятся к величине сварочного тока 250 А, а большие – 290 А).

Из приведенных рисунков следует, что исследуемые электроды содержат экзотермическую смесь, а протекание экзотермических реакций в твердой фазе электродного покрытия происходит только при содержании в нём свыше 30 % окалины (35 % экзотермической смеси) и тем интенсивней, чем больше её содержится в покрытии электродов. Полученные результаты приведены на рис. 1 и 2.

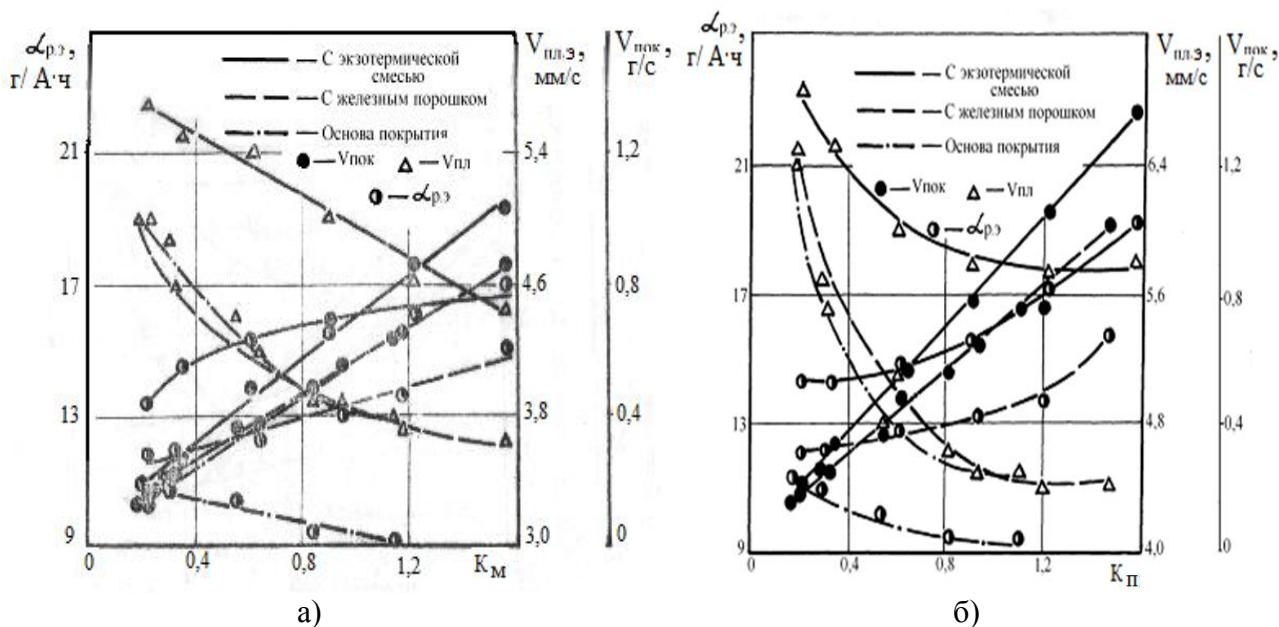


Рис. 2. Показатели расплавления электродов в зависимости от коэффициента массы покрытия K_M при силе сварочного тока 250 А(а) и 290А(б):

$V_{пл.э}$ – линейная скорость плавления электрода, мм/с; $V_{пок}$ – массовая скорость плавления покрытия электрода, г/с; $\alpha_{р.э}$ – коэффициент расплавления электрода, г/А·ч

Таблица 1

Сравнительные значения показателей плавления исследуемых электродов

Показатели плавления электродов	Относительные значения показателей плавления электродов		
	без железного порошка в покрытии	с железным порошком в покрытии	С окалиной (экзотермической смесью)
$K_M = 0,2$			
$V_{пл.э}$, мм/с	1,0	1,0	1,05
	1,0	1,0	1,14
$\alpha_{р.э}$, г/А·ч	1,0	1,07	1,22
	1,0	1,07	1,26
$V_{пл.пок}$, г/с	1,0	1,0	1,21
	1,0	1,0	1,29
$K_M = 1,2$			
$V_{пл.э}$, мм/с	1,0	1,0	1,27
	1,0	1,0	1,31
$\alpha_{р.э}$, г/А·ч	1,0	1,56	1,78
	1,0	1,56	1,92
$V_{пл.пок}$, г/с	1,0	1,0	1,25
	1,0	1,0	1,31
Меньшие значения при силе сварочного тока 250 А, большие – при 290 А			

Из приведенных рисунков и табл. 1 следует, что исследуемые электроды содержат экзотермическую смесь, а протекание экзотермических реакций в твердой фазе электродного покрытия происходит только при содержании в нём свыше 30 % окалины (35 % экзотермической смеси) и тем интенсивней, чем больше её содержится в покрытии электродов.

Несмотря на снижение количества расплавляемого стержня, с увеличением толщины покрытия электродов, количество наплавленного металла увеличивается, что возможно только при условии интенсивного восстановления железа из его оксида. Уменьшение же

$\alpha_{p,ст.}$ с увеличением толщины покрытия говорит о том, что теплота, образующаяся при протекании экзотермической реакции, расходуется в основном на плавление покрытия, увеличивая его массовую скорость плавления (0,18..1,03 г/с). Кроме того, часть тепла покрытию передается от стержня, вследствие чего снижается нагрев стержня и его скорость плавления. В связи с тем, что во всех исследованных составах электродов процентное содержание экзотермической смеси было одинаково, а изменялось её только массовое количество, то происходило лишь увеличение восстанавливаемого железа из его оксидов и повышение производительности расплавления покрытия электродов.

Усреднённые данные механических свойств и химического состава металла швов, выполненных различными партиями разработанных электродов (табл. 2 и 3), показывают, что данные электроды по механическим свойствам и содержанию в наплавленном металле серы и фосфора полностью удовлетворяют требованиями ГОСТ 9467-75 к электродам типов Э46 (ЭТ-3), Э50А (ЭТ-2) и Э60 (ЭТ-4).

Таблица 2

Механические свойства металла шва

Марка электрода по ГОСТ 9467-75	σ , МПа	σ , МПа	δ , %	Ψ , %	КСУ, Дж/см ²			Примечание
					+20 ⁰ С	-40 ⁰ С	-60 ⁰ С	
ЭТ-2 (Э50А)	525... ...570	425... ...460	23,5... ...28,5	58,0... ...65,5	130... ...154	84... ...108	63..... 86	d _{ст} =5,0мм, сталь Ст3пс
	505... ...570	410... ...430	27,5... ...31,5	60,0... ...66,0	153... ...155	105... ...118	75..... 85	d _{ст} =5,0мм, сталь 09Г2С
	555... ...600	450... ...455	23,5... ...31,5	55,8... ...58,0	130... ...144	87... ...97	68..... 80	d _{ст} =4,0мм, сталь Ст3пс
	545... ...555	450... ...455	23,0... ...26,5	56,0... ...62,5	142... ...145	96... ...106	82..... 99	d _{ст} =4,0мм, сталь 09Г2С
ЭТ-3 (Э46)	490... ...495	410... ...430	28,5... ...31,0	60,0... ...65,0	135... ...138	75... ...90	48..... 60	d _{ст} =5,0мм, сталь Ст3пс
ЭТ-4 (Э60)	60,0... ...65,0	460... ...490	18,0... ...21,0	55,0... ...57,0	100... ...122	не опр	не опр	d _{ст} =5,0мм, сталь Ст3пс
	600... ...610	400.... ...460	25,0... ...29,3	62,9... ...63,0	105... ...108	не опр	не опр	d _{ст} =5,0мм, сталь 09Г2С

Примечание: Тип образца на ударный изгиб –VI по ГОСТ 6996-75

Таблица 3

Химический состав металла шва

Марка электрода	Содержание элементов, %						
	С	Mn	Si	Al	Ti	S	P
ЭТ-2 (Э50А)	0,10... ...0,12	0,71... ...0,90	0,15... ...0,25	0,01... ...0,04	0,04... ...0,09	0,023... ...0,030	0,028... ...0,033
ЭТ-3 (Э46)	0,05... ...0,10	0,40... ...0,60	0,14... ...0,26	0,06... ...0,08	0,01... ...0,03	0,020... ...0,030	0,023... ...0,030
ЭТ-4 (Э60)	0,10... ...0,13	1,31... ...1,49	0,28... ...0,35	0,02... 0,06	0,04... ...0,07	0,027... ...0,032	0,026... ...0,032

ВЫВОДЫ

1. Экспериментально установлено, что введение в покрытие электродов окислы железа в пределах 58 % по сравнению с электродами, содержащими такое же количество железного порошка, скорость плавления электродов увеличилась на 18...20 %, массовая скорость плавления покрытия – на 31...34 %, а коэффициент расплавления электрода – на 11...14 % (меньшие значения относятся к величине сварочного тока 250 А, а большие – при 290 А).

2. Экспериментально установлено, что повышение толщины покрытия электродов, содержащих 44,4% экзотермической смеси, от 0,5 до 3,3 мм по сравнению с электродами, содержащими такое же количество железного порошка (при $K_p = 1,2$), скорость плавления электродов увеличилась на 27...31 %, массовая скорость плавления покрытия – на 25...31 %, а коэффициент расплавления электрода – на 26...36 % (меньшие значения относятся к величине сварочного тока 250 А, а большие – 290 А).

3. Введение в покрытие электродов экзотермической смеси повышает скорость расплавления электродов за счет: тепла, выделяющегося при протекании экзотермической реакции; снижения затрат на плавление газшлакообразующей части покрытия и улучшения технологических характеристик дуги.

4. Производственные испытания разработанных электродов показали, что механические свойства и содержание в наплавленном металле серы и фосфора полностью удовлетворяют требованиями ГОСТ 9467-75 к электродам типов Э46 (ЭТ-3), Э50А (ЭТ-2) и Э60 (ЭТ-4).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Походня, И. К. Высокопроизводительные электроды АНО-20 с рутиловым покрытием / И. К. Походня, А. В. Булат, И. Р. Явдоцин // Информ. письмо ИЭС им. Е.О.Патона. – Киев, 1976. – № 36 (1003). – 4 с.
2. Власов А.Ф. Экспериментальное определение экзотермического процесса, протекающего при нагреве и плавлении электродов / А.Ф. Власов, В.М. Карпенко, А.И.Лещенко // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. – №2(4). – 2006. – С. 65–68.
3. Иоффе И. С. Влияние титанотермитной смеси, входящей в электродное покрытие, на повышение производительности сварки / И. С. Иоффе, О. М. Кузнецов, В. М. Питерский // Сварочное производство. – 1980. – № 3. – С. 26–28.
4. Власов А. Ф. Особенности нагрева и плавления электродов с экзотермической смесью в покрытии / А.Ф.Власов, Н. А. Макаренко // Сварочное производство. – 2015. – №9. – С.12–18.
5. Власов А. Ф. Нагрев и плавление электродов с экзотермической смесью в покрытии / А. Ф. Власов, Н. А. Макаренко, А. М. Куций // Автоматическая сварка. – Киев, 2014. – №6-7. – С.151–154.
6. Власов А. Ф. Технологические характеристики электродов с экзотермической смесью в покрытии для наплавки инструментальных сталей / А. Ф. Власов, А. М. Куций // Сварочное производство. – 2011. – №4. – С.10–15.