

УДК 621.791:624

ВЛИЯНИЕ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ СВАРКИ ПОД ФЛЮСОМ НА ОСНОВЕ ШЛАКА ПРОИЗВОДСТВА СИЛИКОМАРГАНЦА НА ГАЗОНАСЫЩЕННОСТЬ МЕТАЛЛА СВАРНОГО ШВА

А.А. Усольцев, Н.А. Козырев, А.Р. Михно, Р.Е. Крюков, Р.А. Шевченко

E-mail: a.us@rambler.ru

Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия

Аннотация. Представлены результаты исследования влияния энерготехнологических режимов автоматической сварки под слоем флюса, изготовленного из шлака силикомарганца, на газонасыщенность металла сварного шва. Показаны полученные в ходе экспериментов зависимости влияния энерготехнологических режимов на концентрацию кислорода и азота в металле сварного шва.

Ключевые слова: сварка, флюс, шлак силикомарганца, газонасыщенность, кислород, азот.

INFLUENCE OF ENERGY-TECHNOLOGICAL MODES OF SUBMERGED ARC WELDING WITH A FLUX PRODUCED FROM SILICOMANGANESE ON GAS SATURATION OF WELDED SEAM METALL

A.A. Usoltsev, N.A. Kozyrev, A.R. Mikhno, R.E. Kryukov, R.A. Shevchenko

E-mail: a.us@rambler.ru

Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia

Abstract. The paper presents the study results of the influence of energy-technological modes of submerged arc welding with a flux produced from silicomanganese on gas saturation of welded seam metal. The dependences of the influence of power engineering modes on the concentration of oxygen and nitrogen in the weld metal are shown.

Keywords: welding, flux, silicomanganese slag, gas saturation, oxygen, nitrogen.

Введение

Надежность и долговечность сварного соединения predetermined при прочих равных условиях концентрацией азота, кислорода, а также кислородных неметаллических включений, их морфологией, формой и размерами. В связи с этим при отработке технологии сварки уделяется большое внимание снижению газонасыщенности в металле сварного шва. Настоящая работа продолжает ранее проведенные исследования по изучению влияния новых сварочных флюсов на содержание кислорода в металле сварных швов [1 – 4] и представляет исследование влияния энерготехнологических режимов сварки на газонасыщенность металла сварных швов.

Методика проведения исследований

Сварку образцов проводили после сушки сварочного флюса с целью исключения влажности при температуре 250 – 300 °С в течение 3 ч. Пластины из стали марки 09Г2С толщиной 20 мм сваривали встык без разделки кромок сварочной проволокой Св-08ГА с помощью автоматического сварочного трактора ASAW-1250. В качестве сварочного флюса использовали шлак производства силикомарганца фракции от 0,45 до 2,50 мм. Химический состав флюса на основе шлака производства силикомарганца: 0,420 % FeO; 16,220 % MnO; 29,000 % CaO; 41,340 % SiO₂; 6,530 % Al₂O₃; 1,330 % MgO; 0,240 % S; 0,022 % P; 0,008 % ZnO; 0,031 % C; 0,310 % F; 0,150 % TiO₂; 0,025 % Cr₂O₃ (по массе).

Режимы сварки образцов

Режим	I , А	U , В	v , см/мин	$E_{\text{п}}$, Дж/см
0	700	30	30	42000
1	600	28	28	36000
2	600	30	32	33750
3	600	32	30	38400
4	650	28	32	34125
5	650	30	30	39000
6	650	32	28	44571
7	700	28	30	39200
8	700	30	28	45000
9	700	32	32	42000

Режимы сварки образцов выбирали методом полнофакторного математического планирования эксперимента $3^{(3-1)}$ по следующим параметрам: сила тока (I), напряжение (U), скорость сварки (v), погонная энергия ($E_{\text{п}}$). За основной режим сварки был выбран режим: $I = 700$ А; $U = 30$ В; $v = 30$ см/мин (режим 0). Режимы сварки образцов, полученные методом полнофакторного математического планирования эксперимента, представлены в табл. 1.

Химический состав металла сварных швов, выполненный рентгенофлуоресцентным методом на спектрометре XRF-1800 и атомно-эмиссионным методом на спектрометре ДФС-71, приведен в табл. 2.

При отработке технологии получения сварных соединений с пониженной газонасыщенностью определяли концентрацию кислорода и азота в металле сварного шва по ГОСТ 17745 – 90 «Стали и сплавы. Методы определения газов», устанавливающему метод восстановительного плавления в вакууме или в потоке инертного газа-носителя на газоанализаторе фирмы «LECO» TC-600 (США).

Для проведения анализа готовили образцы цилиндрической формы высотой не более 6 мм, диам. 5 мм, массой примерно 1 г. Для проведения анализа изготавливали не менее трех образцов. Перед проведением анализа проводили очистку образцов с последующим травлением в соляной кислоте, разбавленной 1:3.

Результаты исследования газонасыщенности исследуемых образцов представлены в табл. 3.

Полученные результаты указывают на рост концентраций азота N и кислорода (свободного O и связанного в соединениях $O_{\text{св}}$) с ростом силы тока и на снижение этих показателей при увеличении напряжения, при этом скорость сварки слабо влияет на газонасыщенность металла сварного шва (рис. 1 – 3).

Отмечено, что по степени формирования в металле сварных швов наибольшее количество оксидных включений находится в виде алюминатов, затем следуют силикаты и алюминаты кальция, силикаты кальция, магниевые шпинели (рис. 4), при этом общие тенденции влияния силы тока, напряжения и скорости сварки сохраняются.

Химический состав металла сварных швов

Образец	Содержание элементов, % (по массе)										
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Ti	Mo	Al	S	P
0	0,11	0,41	1,16	0,05	0,31	0,15	0,002	0,10	0,009	0,014	0,014
1	0,07	0,48	1,24	0,05	0,43	0,16	0,001	0,14	0,012	0,013	0,016
2	0,08	0,54	1,38	0,06	0,28	0,17	0,003	0,08	0,018	0,014	0,014
3	0,08	0,51	1,31	0,06	0,32	0,15	0,001	0,10	0,014	0,014	0,013
4	0,08	0,49	1,20	0,05	0,45	0,17	0,002	0,16	0,013	0,011	0,015
5	0,07	0,50	1,26	0,05	0,43	0,17	0,003	0,14	0,002	0,012	0,018
6	0,07	0,49	1,25	0,05	0,40	0,16	0,002	0,13	0,001	0,012	0,015
7	0,09	0,50	1,23	0,04	0,41	0,13	0,001	0,14	0,014	0,011	0,011
8	0,09	0,50	1,31	0,06	0,31	0,17	0,001	0,09	0,019	0,014	0,013
9	0,07	0,53	1,27	0,05	0,37	0,15	0,002	0,12	0,010	0,015	0,016

Содержание кислорода и азота в металле сварного шва

Образец	Содержание, %					
	N	O	O _{св}	Силикаты	Алюминаты	Алюмосиликаты кальция, силикаты кальция, магниевые шпинели
0	0,092	0,0132	0,1167	0,05234	0,06185	0,00251
1	0,096	0,0130	0,1175	0,05801	0,05614	0,00335
2	0,087	0,0119	0,0973	0,04656	0,04783	0,00291
3	0,087	0,0121	0,0965	0,04635	0,04802	0,00213
4	0,087	0,0132	0,0964	0,04054	0,05425	0,00161
5	0,089	0,0129	0,1102	0,03636	0,07186	0,00198
6	0,083	0,0128	0,0941	0,04553	0,04702	0,00155
7	0,097	0,0141	0,1217	0,05535	0,06442	0,00193
8	0,091	0,0129	0,1167	0,05995	0,05563	0,00112
9	0,091	0,0131	0,1128	0,04518	0,06541	0,00221

По полученным данным построены математические модели содержания кислорода и азота в металле сварных швов от энерготехнологических режимов:

$$O = 0,0185 + 0,000105989I - 0,0000121U - 0,00000633V_{св} \text{ (ошибка аппроксимации составляет 9,23 \%);}$$

$$N = 0,001128205 + 0,00016906I - 0,0000194U - 0,0000014669V_{св} \text{ (ошибка аппроксимации составляет 11,41 \%).}$$

Выводы

Проведенные исследования показали, что энерготехнологические режимы сварки влияют на содержание кислорода и азота в металле сварного шва. Концентрация азота и кислорода

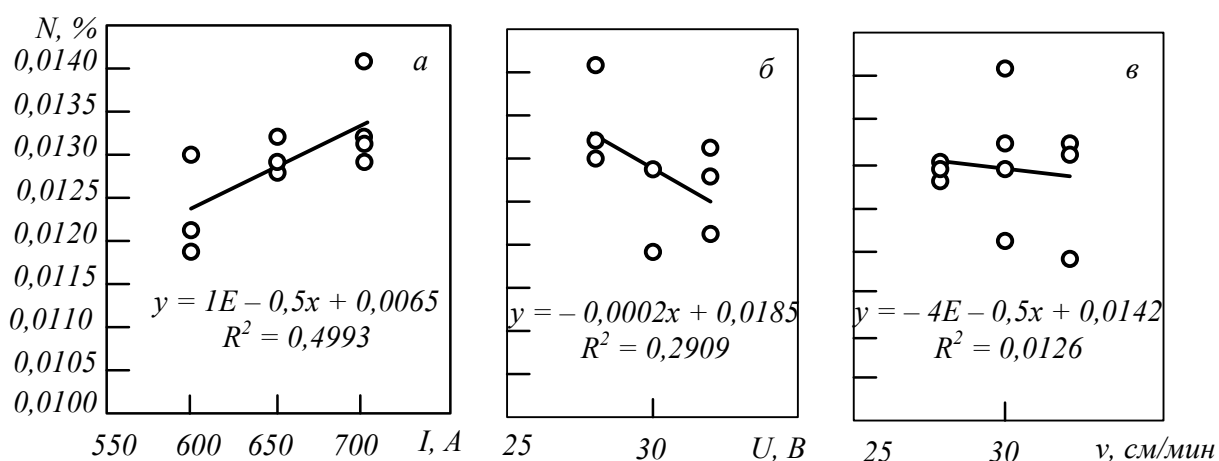


Рис. 1. Влияние силы тока (а), напряжения (б), скорости сварки (в) на содержание азота в металле сварного шва

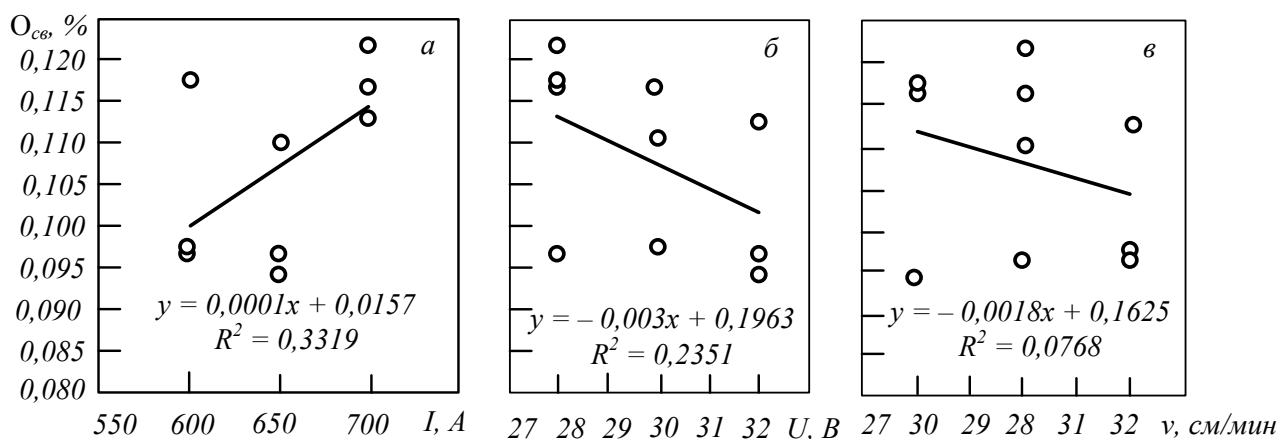


Рис. 2. Влияние силы тока (а), напряжения дуги (б), скорости сварки (в) на содержание связанного кислорода в металле сварного шва

(свободного и связанного в соединениях) увеличивается с ростом силы тока и снижается при увеличении напряжения, при этом скорость сварки слабо влияет на газонасыщенность металла сварного шва.

Опыты показали, что в процессе сварки наибольшее количество сформированных оксидных включений находится в виде алюминатов, затем следуют силикаты и алюминаты кальция, силикаты кальция, магниевые шпинели, при этом общие тенденции влияния силы тока, напряжения и скорости сварки сохраняются.

Получены математические модели статистической обработки, которые позволяют оценить влияние энерготехнологических режимов на концентрацию азота и кислорода в металле сварного шва.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Козырев Н.А., Михно А.Р., Крюков Р.Е., Калиногорский А.Н., Башенко Л.П. Влияние введения добавок во флюсы, изготовленные из ковшевого электросталеплавильного шлака // Изв. вуз. Черная металлургия. 2019. Т. 62. № 8. С. 606 – 612.
2. Крюков Р.Е., Козырев Н.А., Михно А.Р., Башенко Л.П., Калиногорский А.Н. Влияние введения добавок углерода и фтора во флюсы, изготовленные из шлака силикомарганца // Изв. вуз. Черная металлургия. 2020. Т. 63. № 1. С. 34 – 39.
3. Kozыrev N.A., Mikhno A.R., Kryukov R.E., Kalinogorskii A.N., Bashchenko L.P. Effect of Additives Introduction to Fluxes Manufactured from Ladle Electric Steel Slag // Steel in Translation. 2019. Vol. 49. No. 8. P. 504 – 509.

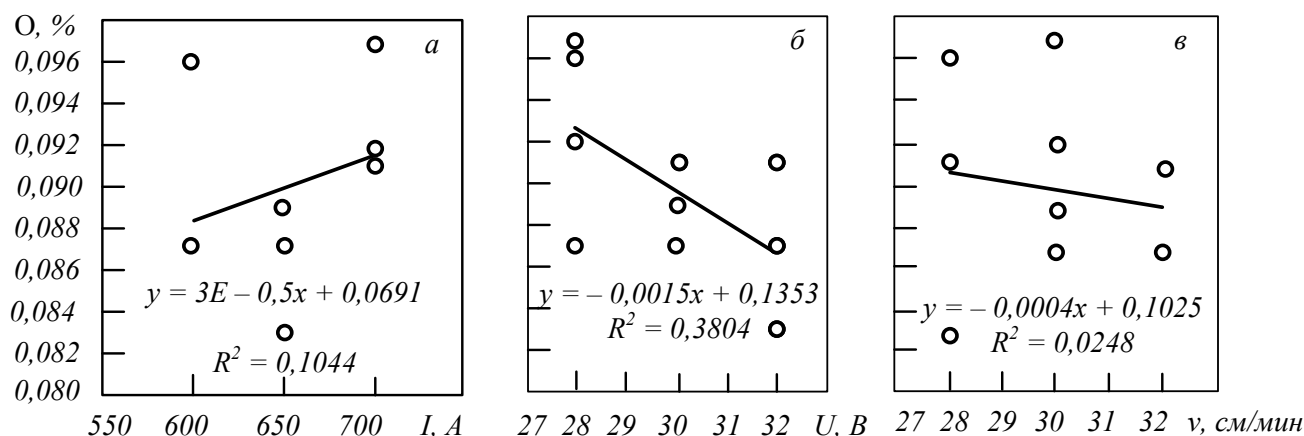


Рис. 3. Влияние силы тока (а), напряжения дуги (б), скорости сварки (в) на содержание свободного кислорода в металле сварного шва

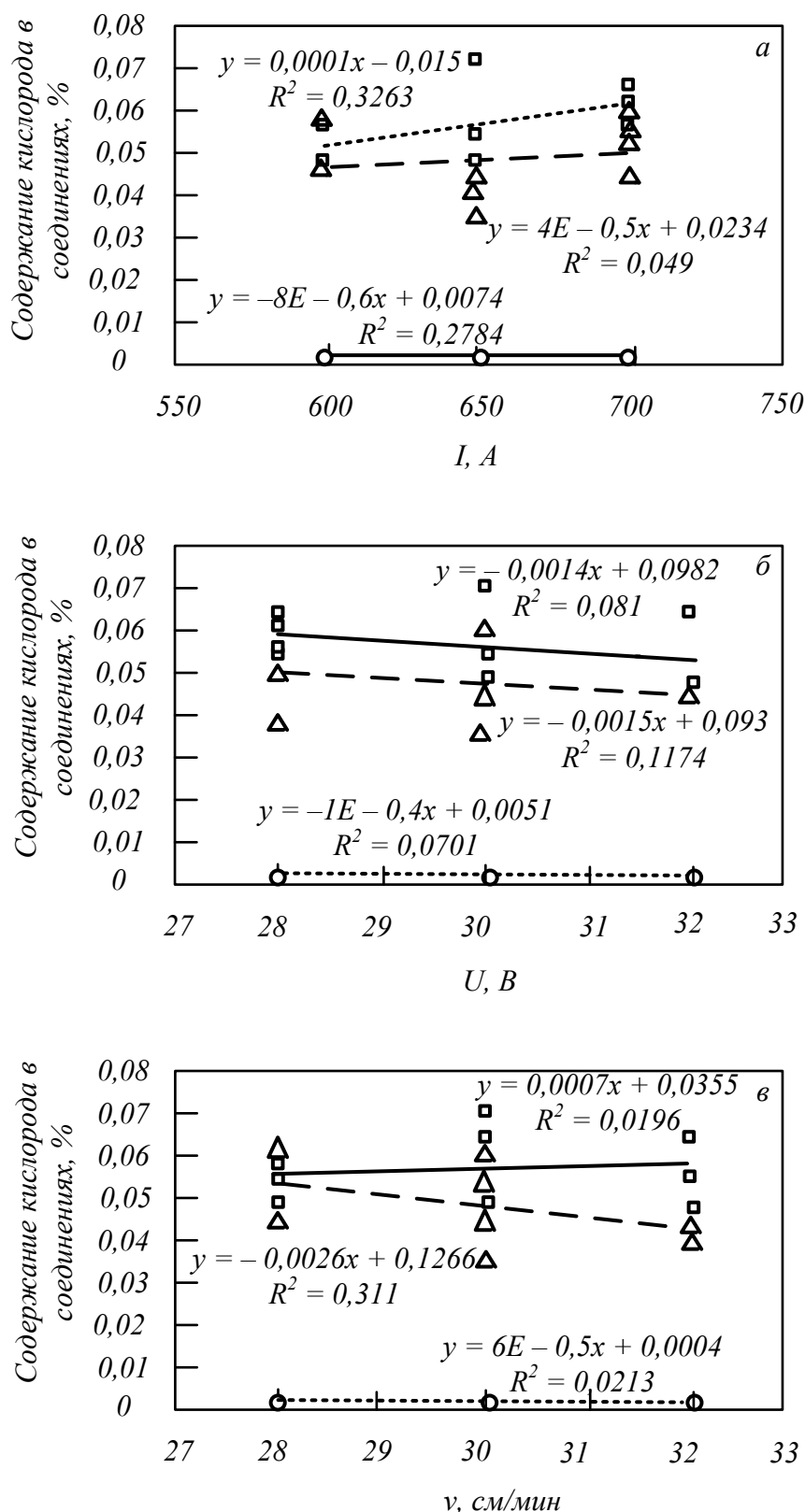


Рис. 4. Влияние силы тока (а), напряжения (б), скорости сварки (в) на распределение кислородных неметаллических включений в металле сварного шва:

Δ – силикаты; $\square$ – алюминаты; $\circ$ – алюминаты кальция, силикаты кальция, магниевые шпинели

- Kryukov R.E., Kozyrev N.A., Mikhno A.R., Bashchenko L.P., Kalinogorskii A.N. Effect of Carbon and Fluorine Added to Silicomanganese Slag Fluxes // Steel in Translation. 2020. Vol. 50. No. 1. P. 11 – 15.

© 2020 г. А.А. Усольцев, Н.А. Козырев,
А.Р. Михно, Р.Е., Крюков, Р.А. Шевченко
Поступила 8 июня 2020 г.